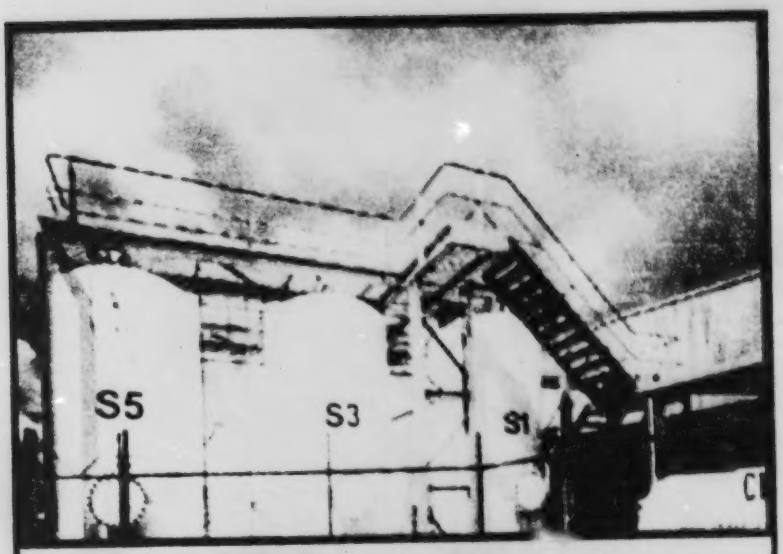
EPS 1/RA/4 - March 2001
Clean Technologies and Processes Division
Environmental Technology Advancement Directorate
Environment Canada



Environmental Protection Series

Guidance Document on Disposal Technologies for Ozone-depleting Substances (ODS) in Canada

Environment Canada Environnement Canada

Canada

ENVIRONMENTAL PROTECTION SERIES

Sample Number:

EPS **3** / **HA** / **1**

Report number with the qualifier EPS 3/HA
Subject Area Code
Report Category
Environmental Protection Series

Categories

1	Regulations/Guidelines/Codes of Practice
2	Problem Assessment and Control Options
3	Research and Technology
4	Literature Reviews
5	Surveys
6	Social, Economic and Environmental Impact Assessments
7	Surveillance
8	Policy Proposals and Statements
9	Manuals

Subjects

AG	Agriculture
AN	Anaerobic Technology
AP	Airborne Pollutants
AT	Aquatic Toxicity
CC	Commercial Chemicals
CE	Consumers and the Environment
CI	Chemical Industries
FA	Federal Activities
FP	Food Processing
HA	Hazardous Wastes
IC	Inorganic Chemicals
MA	Marine Pollutants
MM	Mining and Ore Processing
NR	Northern and Rural Regions
PF	Paper and Fibres
PG	Power Generation
PN	Petroleum and Natural Gas
RA	Refrigeration and Air Conditioning
RM	Reference Methods
SF	Surface Finishing
SP	Oil and Chemical Spills
SRM	Standard Reference Methods
TS	Transportation Systems
TX	Textiles
UP	Urban Pollution
WP	Wood Protection/Preservation

New subjects and codes are introduced as they become necessary. A list of EPS reports may be obtained from Environmental Protection Publications, Environmental Protection Service, Environment Canada, Ottawa, Ontario, K1A 0H3, Canada

102-05213/

Guidance Document on Disposal Technologies for Ozone-depleting Substances (ODS) in Canada

Clean Technologies and Processes Division
Environmental Technology Advancement Directorate
Environment Canada
Hull, Quebec

Report EPS 1/RA/4
March 2001

National Library of Canada Cataloguing in Publication Data

Main entry under title:

Guidance document on disposal technologies for ozone-depleting substances (ODS) in Canada

(Report ; EPS 1/RA/4)
Issued also in French under title : Guide sur les techniques d'élimination des substances qui appauvrissent la couche d'ozone (SACO) au Canada.
Includes bibliographical references.
ISBN 0-660-18518-0
Cat. no. En49-24/1-51E

1. Ozone-depleting substances – Management – Canada – Handbooks, manuals, etc.
2. Chlorofluorocarbons – Management – Canada – Handbooks, manuals, etc.
3. Halocarbons – Management – Canada – Handbooks, manuals, etc.
4. Ozone layer depletion – Government policy – Canada.
5. Hazardous wastes – Management – Canada – Handbooks, manuals, etc.

I. Canada. Environment Canada.
II. Canada. Clean Technologies and Processes Division.
III. Series: Report (Canada. Environment Canada); EPS 1/RA/4.

TD887.O95G84 2001 363.73'8'75 C2001-980151-3

© Her Majesty the Queen in Right of Canada (Environment Canada) 2001

Readers' Comments

Comments regarding the content of this report should be addressed to:

Adrian Steenkamer Jr.
Clean Technologies and Processes Division
Technology Transfer Branch
Environmental Technology Advancement Directorate
Environment Canada
351 St. Joseph Blvd.
Place Vincent Massey
Hull, Quebec
K1A 0H3

Cette publication est aussi disponible en français. Pour l'obtenir, s'adresser à :

Publications de la Protection de l'environnement
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0H3

Review Notice

This report has been reviewed by staff of the Technology Transfer Branch, Environment Canada, and approved for publication. Mention of trade names or commercial products does not constitute recommendation or endorsement by Environment Canada for use.

Abstract

The Federal-Provincial Working Group on Ozone-Depleting Substances and Their Halocarbon Alternatives has developed a strategy to accelerate phasing out the use of chlorofluorocarbons (CFCs) and halons in response to restrictions promulgated by the 1987 *Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer*.

The production and importation of CFCs and halons were banned in Canada in 1994–96 under the *Ozone-depleting Substances Regulations*.

The accumulation of surplus quantities of ODS in Canada has been accelerated by regulatory restrictions, use of alternatives to CFCs and halons, and proposed refill bans, necessitating the identification of technologies for their disposal.

This guidance document addresses the need to provide stakeholders with recommended acceptable performance standards, and/or guidelines for the destruction of ODS.

Résumé

Le Groupe de travail fédéral-provincial sur les substances appauvrissant la couche d'ozone et de leurs halocarbures de remplacement a élaboré une stratégie visant à accélérer l'abandon graduel de l'emploi des chlorofluorocarbures (CFC) et des halons, par suite des restrictions promulguées dans le *Protocol de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone* (1987).

De 1994 à 1996, on a interdit au Canada la production et l'importation de CFC et d'halons, en application du *Règlement sur les substances appauvrissant la couche d'ozone*.

Les restrictions réglementaires, l'emploi de substances de remplacement et les projets d'interdiction du remplissage à neuf ont entraîné l'accumulation de quantités excédentaires de substances qui appauvrissent la couche d'ozone au Canada, nécessitant la recherche de technologies d'élimination.

Le présent guide répond à la nécessité de fournir aux intéressés des normes ou des lignes directrices recommandées rendement acceptable pour la destruction des substances qui appauvrissent la couche d'ozone.

Table of Contents

Abstract v
Résumé vi
List of Tables viii
Executive Summary ix
Definitions and Abbreviations x
Acknowledgements xii

Section 1
1 Background 1
1.1 The Montreal Protocol and Ozone-depleting Substances 1
1.2 Regulation of Ozone-depleting Substances in Canada 2
1.3 Previous Reviews of Ozone-depleting Substances Disposal Technologies 2
1.4 The Canadian National Action Plan on Ozone-depleting Substances 3
1.5 Objectives and Scope 3

Section 2
2 Review of Ozone-depleting Substances Disposal Technologies 5
2.1 Overview 5
2.2 Screening of Ozone-depleting Substances Disposal Technologies 6
2.3 Environmental/Technical Evaluation 8
2.4 Commercial/Economic Evaluation 10

Section 3
3 Storage, Transportation, and Regulatory Issues 12
3.1 Overview and Applicable Regulations 12
3.2 Storage, Handling, and Transportation 14
3.2.1 Overview 14
3.2.2 Containers 15
3.2.3 Documentation, Labelling, Handling, and Personnel Training Requirements 16

Section 4
4 Recommendations 17

References 18

Appendix A Hazardous Waste Task Group Members 20

Appendix B Description of Commercially Available Ozone-depleting Substances Disposal Technologies 21

List of Tables

1 Technical Data for the Evaluation of Ozone-depleting Substances Disposal Technologies 9

2 Environmental/Technical Ranking of Ozone-depleting Substances Disposal Technologies 10

3 Commercial/Economic Ranking of Ozone-depleting Substances Disposal Technologies 11

4 Regulations and Documents Relevant to the Handling of Surplus Ozone-depleting Substances 15

Executive Summary

The objective of this guidance document is to provide clear guidance to Canadian stakeholders on the latest mechanisms, technologies, performance standards, and procedures for ensuring the safe and effective destruction, transformation, and/or permanent stabilization of ODS stockpiles.

Sixteen ODS disposal technologies are identified based on environmental criteria and commercial availability.

The environmental/technical evaluation is intended to provide guidance as to which technologies offer the best technical solutions to the disposal of ODS in terms of avoiding adverse environmental and/or human health effects. These issues include the prevention of the ultimate release of ODS and the depletion of the ozone layer, the prevention of the release of Global Warming Gases that also contribute to climate change, as well as avoiding the production and release of by-products of ODS destruction that may themselves have adverse health or environmental effects.

The commercial/economic evaluation addresses different issues, and is meant to provide some guidance as to the current and future availability of technologies and facilities for the disposal of anticipated Canadian surpluses of ODS, as well as an assessment as to what the costs of destruction for the various identified technologies may be. A detailed and precise cost analysis for each technology, however, is beyond the scope of this guidance document.

In addition to the identification and evaluation of ODS disposal technologies, the guidance document provides information regarding the handling of ODS surplus quantities, including applicable regulations relating to transportation, storage, and reporting requirements.

Definitions and Abbreviations

Definitions

CCME–Canadian Council of Ministers of the Environment. Each province and territory, and the federal government are represented at the meetings by the respective Minister of the Environment.

Chlorofluorocarbon (CFC)–A stable compound containing chlorine, fluorine, and carbon atoms.

Commercially Available–A technology that is viable, available on an industrial scale, and not significantly limited in capacity by any factor or combination of factors.

Disposable Container–A container designed to be used only once for transportation or storage of CFCs or HCFCs; designed in accordance with Transport Canada specification 39 (DOT 39 if made in the USA).

Disposal–The method used to eliminate a substance that will no longer be used for the original purpose for which it was made. The method may include transformation, destruction, or disposal as a hazardous waste if mixed with other substances.

FPWG–Federal-Provincial Working Group on Ozone-Depleting Substances and Their Halocarbon Alternatives (formerly called the Federal Provincial Working Group on Controls Harmonization–ODS).

GHG–Greenhouse gases, such as carbon monoxide and various hydrocarbons. These are widely believed to contribute to global warming and climate change.

GWP–Global Warming Potential. A relative measure of the warming effect that the emission of a radiative gas might have on the surface troposphere. Usually a factor relative to carbon dioxide (CO_2).

Halon–A compound containing bromine, fluorine, and carbon in its structure, and that may contain chlorine.

Halocarbon–A carbon-based compound that may contain hydrogen, fluorine, chlorine, bromine or iodine in its structure.

Hydrochlorofluorocarbon (HCFC)–A chemical compound that contains hydrogen, chlorine, fluorine, and carbon atoms.

Hydrofluorocarbon (HFC)–A chemical compound that contains only hydrogen, fluorine, and carbon. Since no chlorine is present, these compounds have no ozone-depletion potential.

Hydrobromofluorocarbon (HBFC)–A compound containing only hydrogen, bromine, fluorine, and carbon atoms in its structure.

Incineration–See Thermal Oxidation.

Methyl Bromide (MBr)–A chemical compound containing bromine, hydrogen, and carbon. It is a pesticide and also used as a fumigant.

Montreal Protocol–An international agreement titled "The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer." The Protocol sets the reduction and phase-out dates for the consumption of ozone-depleting substances. It was developed under the auspices of the United Nations Environment Programme (UNEP) to provide a coordinated response to the global problem of stratospheric ozone depletion. More than 175 countries have signed the Protocol.

Non-incineration Technologies–Those technologies that destroy ODS without using thermal oxidation (e.g., chemical reaction, UV photolysis) or use processes that break down the chemical bonds of the ODS in an oxygen-free atmosphere.

Ozone-depleting Substance (ODS)–A chemical that is sufficiently stable to reach the stratosphere, and then decomposes through its reaction with ozone.

Ozone Depletion Potential (ODP)–The rated effect of a compound on the ozone layer compared to CFC-11, which is assigned the value of 1.0.

Perfluorocarbon (PFC)–A chemical compound that contains only fluorine and carbon. Perfluorocarbons are not ozone-depleting substances. They do, however, have a high global warming potential.

Plasma Technologies–Those technologies using a plasma "flame" or "torch" to break down the chemical bonds. Plasma is a mixture of electrons, ions, and neutral particles existing at temperatures between 5000 and 20 000 Kelvin. This high-temperature, ionized, conductive gas is created by the interaction of a gas with an electric arc or magnetic field.

Recovery–Collection of ODS such as CFCs or HCFCs from equipment during servicing or before disposal (as opposed to venting to the atmosphere).

Recycling–Reuse of recovered ODS by charging back into the equipment after servicing.

Reclamation–Recovered refrigerants are shipped off-site to a central processing facility and cleaned by filtering, drying, distillation, and chemical treatment to meet or exceed industry-accepted reuse standards.

Refillable Container–A container that meets the requirements of Transport Canada and is approved for multiple uses.

Thermal Oxidation–Thermal oxidation (incineration) is a process that ideally converts organic compounds, whether hydrocarbon or oxygenated, to CO_2 and H_2O. There are two main types of incinerators: thermal and catalytic. In thermal incineration, the organic compounds are heated to very high temperatures to oxidize the organic compounds in the gas phase. A thermal incinerator burns the compounds at temperatures usually in the 750 to 1000° C range.

In catalytic incineration, a catalyst promotes the oxidation reaction on its surface (i.e., solid-gas interface) at lower temperatures by providing alternative reaction pathways that have faster rates than the corresponding gas-phase reactions; catalytic incinerators typically operate between 350 and 500° C.

Abbreviations

A/C	Air conditioning
CCME	Canadian Council of Ministers of the Environment
CFC	Chlorofluorocarbon
CFC-11	Trichlorofluoromethane
CFC-12	Dichlorodifluoromethane
CFC-115	Chloropentafluoroethane
CWS	Canada-wide Standard
FPWG	Federal-Provincial Working Group on Ozone-Depleting Substances and Their Halocarbon Alternatives
GHG	Greenhouse gas
GWP	Global Warming Potential
Halon 1211	Bromochlorodifluoromethane
Halon 1301	Bromotrifluoromethane
HBFC	Hydrobromofluorocarbon
HCFC	Hydrochlorofluorocarbon
HCFC-22	Chlorodifluromethane
HFC	Hydrofluorocarbon
HRAI	Heating, Refrigerating and Air Conditioning Institute
ICFB	Internally Circulated Fluidized Bed
ICRF	Inductively Coupled Radio Frequency
MSWI	Municipal solid waste incinerator
NAICC	National Air Issues Coordinating Committee (a CCME committee)
NAP	National Action Plan
NO_x	Nitrogen oxides
ODP	Ozone Depletion Potential
ODS	Ozone-depleting Substance
PCDD	Polychlorinated dibenzo-*para*dioxins
PCDF	Polychlorinated dibenzofurans
PIC	Products of incomplete combustion
PFC	Perfluorocarbon
R/R	Recovery and Recycling
R/R/R	Recovery, Recycling, and Reclamation
R-134a	Hydrofluorocarbon refrigerant
R-502	An azeotropic refrigerant blend of HCFC-22 and CFC-115
TEQ	Toxic Equivalence
TDGR	Transportation of Dangerous Goods Regulations
UNEP	United Nations Environment Programme

Acknowledgements

Environment Canada gratefully acknowledges the work performed by Jacob Shapiro, Alain Carrière, and Dan Nolan *et al.*, of Cantox Environmental Inc. in the preparation of a report on ODS disposal technologies. This report precipitated the development of this Guidance Document and other ongoing activities related to destruction of ODS by Environment Canada.

Background

1.1 The Montreal Protocol and Ozone-depleting Substances

The 1987 *Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer* (the "*Montreal Protocol*") was originally signed by 24 countries including Canada in September 1987 and had been ratified by 175 countries as of July 2000. The *Montreal Protocol* resulted in a series of legally binding measures to control or eliminate the production and consumption of Ozone-depleting Substances (ODS) in various countries. The *Montreal Protocol* is a living treaty with built-in provisions for making changes based on new scientific information and technological developments (UNEP, 1997).

Depletion of the ozone layer in the Earth's stratosphere reduces the ability of the atmosphere to provide protection from UV radiation emitted by the sun. This can result in serious risks to human health, including increased risk of cancer, cataracts, and the weakening of immune system functions. Increased UV radiation due to ozone layer depletion has also been associated with adverse environmental effects such as reduced production of some vegetation on land and reduced production of plankton in oceans.

The *Montreal Protocol* is widely regarded as one of the most important and effective international environmental agreements ever signed. Since 1994, the total amount of organic chlorine in the global troposphere is beginning to decrease slowly largely due to declines in methyl chloroform concentrations. Emissions of most ODS have diminished substantially from the peak levels of the late 1980s. Despite this progress, atmospheric concentrations of some ODS, namely Halon-1211, continue to increase. Continued releases contribute to existing atmospheric concentrations, which exhibit significant environmental persistence. Once concentrations of methyl chloroform stabilize over the next 10 to 15 years, the rate of decrease in total atmospheric ODS is likely to diminish.

Controls put into place following the *Montreal Protocol* have resulted in a growing surplus of used and unused CFCs and halons due to their replacement with more environmentally friendly substances. The surplus consists of unused ODS, ODS in use in older equipment, and ODS either recycled, reclaimed, or stockpiled after removal from such equipment. Surplus quantities of ODS are expected to continue to grow as a result of management initiatives related to the *Montreal Protocol*.

In Canada, with the exception of mobile air conditioning sources, current uses of ODS based on stockpiled quantities have the potential to continue for many years. In several sectors, given the *status quo*, significant environmental releases of ODS from current uses are expected over the next 10 to 20 years. It is generally assumed that all of the current inventory of ODS will eventually be emitted to the atmosphere unless a management program involving destruction technologies is put into place (Environment Canada, 1998).

The above considerations highlight the importance of making progress in reducing or eliminating further ODS emissions. While restrictions on the production, importation, and consumption of ODS that resulted from the *Montreal Protocol* are necessary steps for managing ODS currently in use or stockpiled, a critical challenge facing world governments lies in disposing of the growing surplus of ODS in such a way as to avoid further atmospheric emissions. To this end, an up-to-date evaluation of existing and emerging ODS disposal technologies was carried out (Cantox Environmental Inc., 2000). In this context, it is relevant to note that two decisions were recently taken under the *Montreal Protocol* to require Parties to develop management strategies, in which disposal issues are addressed for both

CFCs and halons (Decisions XI/16 and X/7, respectively).

1.2 Regulation of Ozone-depleting Substances in Canada

The production and importation of chlorofluorocarbons (CFCs) and halons were banned in Canada in 1994–96 under the *Ozone-depleting Substances Regulations* (*Canada Gazette*, 1995). The goal of these restrictions is to diminish the threat posed by ODS and allow a return to former stratospheric ozone levels.[1] Starting in 1999, the import of recycled and reclaimed CFCs and halons had also been banned in Canada. Hydrochlorofluorocarbons (HCFCs), which are CFC replacements with much less Ozone Depletion Potential (ODP) than CFCs, are also being controlled. The current Canadian regulations already limit and control the production, importation and exportation of HCFCs, and prescribe a gradual phaseout of these substances to be completed by 2030. In addition, provinces have implemented mandatory recovery/recycling and training programs.

In 1998, the Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) tasked the Federal-Provincial Working Group on Ozone-Depleting Substances and Their Halocarbon Alternatives to assess the feasibility of phasing out the uses of CFCs and halons. This has resulted in the development of *Canada's Strategy to Accelerate the Phase-Out of CFC and Halon Uses and to Dispose of the Surplus Stocks* (CCME PN 1316, May 2001). The strategy proposes a prohibition on the refilling of all equipment with CFCs and/or halons with the exception of residential white goods. The refill ban takes effect between the years 2001 and 2005 and represents a significant step towards the elimination of the use of CFCs and halons in Canada.

The objective of the Strategy in combination with regulatory restrictions already in place and the general trend towards the use of alternatives to CFCs and halons, is to accelerate the accumulation of surplus quantities of ODS in Canada. The 1998 total inventory of CFCs and halons in Canada (including quantities charged to existing equipment and stockpiled quantities) is estimated to be about 23 000 tonnes of CFCs and 3100 tonnes of halons (Environment Canada, 1999). Thus, regulatory initiatives in Canada pursuant to the Strategy will likely increase the quantity of surplus ODS that will have to be disposed of to avoid their ultimate release to the atmosphere and further degradation of the ozone layer.

1.3 Previous Reviews of Ozone-depleting Substances Disposal Technologies

An *ad hoc* Technical Advisory Committee (TAC) was established in 1990 under the auspices of the United Nations Environment Programme (UNEP) to address the issue of surplus ODS and to review ODS disposal technologies. The 1992 TAC Report recommended six destruction technologies, all of which fell within the category of thermal oxidation (incineration) (UNEP, 1992). The TAC Report also recommended that an Advisory Panel be established to reassess these ODS destruction technologies periodically, and to assess emerging technologies.

In 1993, the Technology and Economic Assessment Panel (TEAP) was tasked with updating the 1992 TAC Report. In 1994, the TEAP recommended that the TAC meet again with a group of industry, technology, and regulatory stakeholders to update the 1992 TAC Report. Following this recommendation, a special UNEP-sponsored workshop was held in Montreal in May 1995. The resulting report indicated a number of existing technologies commercially available at that time, including several emerging ODS destruction and chemical transformation technologies (UNEP, 1995). The 1995 UNEP Report indicated that existing ODS destruction facilities in developed countries were sufficient to dispose of the current and projected ODS wastes until the year 2000. Existing and emerging technologies were said to be able to handle ODS surpluses after the year

[1] "It is anticipated that, as a result of the measures adopted by the Parties to the Montreal Protocol at the meeting held in Copenhagen in 1992, the ozone layer will have fully recovered by 2080." (*Canada Gazette*, 1995).

2000, although destruction of ODS would likely depend not only on availability of technologies but also on available capacity, as well as the effectiveness of economic and regulatory incentives.

1.4 The Canadian National Action Plan on Ozone-depleting Substances

The *1997 Report of the Auditor General of Canada* described a need for Environment Canada to articulate clearly a strategy for the management and disposal of surplus ODS (OAG, 1997). The 1998 Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) revised *National Action Plan for the Environmental Control of Ozone-depleting Substances (ODS) and Their Halocarbon Alternatives* (the "revised NAP") contained an initiative to develop a plan for the disposal of surplus CFCs and halons (CCME, 1998). The national action plan (NAP) was updated again in May 2001 and included tasks identified in the Strategy.

To this end, a screening analysis was performed on 42 identified technologies to create a subset of environmentally acceptable and commercially available technologies for the disposal of Canadian ODS surplus. Ozone-depleting substances disposal technologies that passed the screening evaluation were assessed according to environmental and technical criteria, and then on commercial and economic criteria. The environmental/technical evaluation of those technologies selected by the screening analysis provides stakeholders with additional information to determine which of the available technologies would be appropriate for disposal of current and future surplus ODS in Canada. The commercial/economic assessment provides stakeholders with up-to-date information regarding the state of commercial development and availability, and the estimated average disposal costs for the technologies already identified as being environmentally acceptable. Thus, the screening assessment identifies commercially available and environmentally acceptable ODS disposal technologies; the secondary analysis provides more detailed information on environmental, technical, commercial, and economic issues.

1.5 Objectives and Scope

The objective of this guidance document is to provide Canadian stakeholders with up-to-date information and recommendations on acceptable performance standards and/or guidelines for the destruction of ODS.

Specific objectives include the following:

- identification of specific performance criteria for ODS disposal technologies;
- identification of commercially available technologies for the disposal of ODS;
- information on these technologies, including technical information, state of development, and estimated costs;
- identification of technologies that meet minimum environmental and technical standards;
- an environmental and technical evaluation of available ODS technologies as of 2000;
- an assessment of commercial and cost issues for available technologies; and
- a summary description of regulatory issues associated with the handling of surplus ODS in Canada, including applicable federal and provincial regulations and transportation, storage, and reporting requirements.

Disposal refers to the destruction of ODS, transformation to another non-hazardous material, or stabilization in such a way that potential hazard to the environment is permanently eliminated. In practice, ODS disposal technologies are limited to the first two of these three possibilities. Management initiatives including recycling, reuse, or involving atmospheric release, are not considered here, only those activities leading to the permanent removal of ODS from surplus inventories in Canada.

The scope of this guidance document is limited to the determination of ODS disposal

technologies that are appropriate to consider for the disposal of current and future ODS surplus in Canada and which meet recommended performance standards. Although the disposal technologies are subjected to a ranking based on environmental and economic criteria, it should be noted that this does not indicate a preference for one technology over another. Rather, the information on each of these technologies is presented to assist the reader in selecting the most appropriate technology for his/her situation. For example, a technology ranked high based on environmental criteria may not be appropriate for economic reasons. This guidance document aims to provide a framework for the anticipated discussion as to which technologies should be considered for the disposal of surplus ODS in Canada. Technologies discussed in the 1992 and 1995 UNEP documents on ODS disposal generally involved destruction by thermal oxidation. There is great interest on the part of the international community in using non-incineration technologies for the disposal of ODS that do not generate greenhouse gases and that do not have the potential for releases of dioxins and furans. As part of the scope of this document, non-incineration and chemical transformation technologies are identified and described which could provide alternative choices to incineration for the disposal of surplus ODS.

Review of Ozone-depleting Substances Disposal Technologies

2.1 Overview

Efforts to phase out the production and use of ODS around the world, largely as a result of initiatives related to the *Montreal Protocol*, have driven the development of technologies to dispose of these substances permanently. In some European countries, stringent restrictions on the use of CFCs and halons have resulted in the rapid accumulation of surplus ODS and the development of programs for the ultimate disposal of these substances. Sweden, in particular, has already destroyed much of its surplus inventory of CFCs and halons.

The technologies used for ODS disposal in Europe to date have been largely incineration technologies. The same is true of most of the ODS that have been destroyed to date elsewhere in the world, including the United States and Japan. A notable exception is Australia, where a significant amount of that country's inventory of surplus halons has been destroyed using an argon plasma technology.

In anticipation of the need to provide Canadian stakeholders who are or who will be in possession of surplus ODS with an appropriate choice among disposal technologies, Environment Canada commissioned a review of available ODS disposal technologies. The following provides a framework for evaluating and ranking ODS disposal technologies that have been developed to provide stakeholders with guidance on technology availability and information related to environmental, technical, commercial, and economic issues.

Appendix B contains a comprehensive description of commercially available ODS disposal technologies. This description expands upon the information assembled in the 1992 and 1995 UNEP documents through information obtained from the most recent literature, and from many personal communications with representatives of chemical waste disposal facilities, developers of ODS disposal technologies, academic experts, and government representatives from various countries. A number of new technologies not mentioned in the previous UNEP reports have been identified and are discussed. In the case of technologies previously identified, the information has been updated, particularly regarding issues of technology development status, commercial availability, and cost.

Initially, 42 ODS disposal technologies identified were assessed against a set of criteria to determine whether they were environmentally acceptable and commercially available. Out of the 42 identified disposal technologies, 26 failed to meet the criteria typically because they were not considered to be commercially available. For this reason, this group of 26 technologies has been designated as "emerging technologies".

The 16 technologies that satisfied the requirements were then considered in two separate further evaluations, one involving a set of environmental/technical criteria (Section 2.3), and another addressing commercial/economic criteria (Section 2.4). In this document, these 16 technologies are referred to as "commercially available" technologies; however, these technologies are not only commercially available, they also meet environmental and technical criteria. Thus they are more accurately referred to as commercially available and environmentally acceptable technologies.

For convenience, ODS disposal technologies have been grouped according to three general categories: incineration technologies, plasma technologies, and other non-incineration technologies. As noted in greater detail in the following text, plasma technologies are not considered to be incineration technologies, despite the fact that they involve the thermal destruction of ODS, because they employ inert gas environments and avoid oxidation reactions.

2.2 *Screening of Ozone-depleting Substances Disposal Technologies*

The screening assessment of 42 ODS technologies identified herein consisted of determining and applying criteria for the selection of commercially available and environmentally acceptable technologies. These criteria were established in consultation with Environment Canada and with members of an Expert Review Committee and a Stakeholder Working Group. Only technologies satisfying the screening criteria were further evaluated and ranked in the environmental/technical and commercial/economic assessments.

The screening assessment requirements are:

1. total polychlorinated dibenzo-*para*dioxins (PCDDs) and polychlorinated dibenzofurans (PCDFs) in stack emissions are not to exceed 0.1 ng/m^3 toxic equivalence (TEQ)[2] using the international method (NATO, 1988; Van de Berg, 1998);

2. destruction or conversion efficiency is not to be less than 99.7%[3]; and

3. the disposal technology must be commercially available by January 1, 2003.

A destruction efficiency of not less than 99.99% had been suggested as a minimal standard in the past (UNEP, 1992). There are other issues to be considered, however, such as environmental effects, commercial availability, cost, and practicality. In practice, a technology with significantly lower destruction efficiency but that performs very well in terms of limiting the production of greenhouse gases, provides a low-cost solution that is widely available commercially, and that is convenient to holders of ODS surplus may be more effective in reducing overall emissions of ODS than an expensive, inconvenient, but highly efficient technology. Consequently, it was felt that technologies with a destruction efficiency as low as 99.7% should be given consideration. The destruction efficiency criterion was given very high weighting in the subsequent environmental/technical evaluation, as it was thought to be a critical determinant of an environmentally acceptable technology.

A recommended performance standard of 0.1 ng/m^3 (TEQ) was established for the screening criterion for dioxin/furan emissions. Although a previous standard of 1.0 ng/m^3 (TEQ) had been suggested (UNEP, 1992), advances in technology in recent years justified a significantly more stringent level. This was also in accordance with the level suggested for the *Canada-wide Standard for Dioxins/Furans*. The dioxin/furan criterion was also given a high weighting in the subsequent environmental/technical evaluation due to concerns for adverse health effects associated with these substances. Dioxins and furans have been categorized among the group of Canada's most toxic substances, and under the new CEPA legislation they may be targeted for virtual elimination. It was therefore considered important to favour disposal technologies that minimized or eliminated dioxin/furan emissions.

The third selection criterion was commercial availability, which in practice was the most stringent of the criteria for the evaluation of the identified disposal technologies. Where technologies failed to meet the criteria, this was inevitably because they were judged not to be commercially available. All technologies reviewed passed the destruction efficiency criterion, particularly given the fact that multi-stage units could theoretically ensure any desired level of destruction efficiency (although this strategy would naturally result in elevated costs). Similarly, none of the technologies identified failed the dioxin/furan criterion. The intent was to avoid disqualifying any technology, including the various incineration technologies, if it was reasonable to assume that

---

[2] For the screening process it was 0.1, but the Canada-wide Standard (CWS) currently recommends 0.08.

[3] The lowest destruction efficiency for the commercially available technologies identified was 99.7%. Thus, although lower destruction efficiencies would have been considered, it was not an issue in practice.

proper operating conditions and emission control systems would result in the mandatory technical and environmental criteria being satisfied. Some mechanism would clearly need to be in place to deal with the issue of exceptions for individual facilities or in particular cases where the environmental/technical criteria may not be satisfied; however, this would not necessarily disqualify the disposal technology itself.

Defining exactly what "commercially available" means required some clarification and exercise of judgement. The working definition used for a "commercially available" technology was a technology that is commercially viable, available on an industrial scale, and not significantly limited in capacity by any factor or combination of factors. It was assumed that any process that had been demonstrated on a commercial scale anywhere in the world was commercially available for the disposal of Canadian ODS surplus. Where a process was based on proprietary technology it was assumed that it could be licensed for use in Canada. In cases where a commercial-scale facility existed and had been tested on PCBs or other (non-ODS) chlorinated organics, it was usually assumed that the technology could be applied to ODS, although professional judgement was brought to bear on a case-by-case basis. As a minimum, pilot-scale testing had to have been performed in order for a technology to be considered commercially available. Bench-scale testing, no matter how promising, was not felt to be enough to indicate the availability of a technology in such a short time frame. In general, this criterion was interpreted conservatively in the sense that no technology would be excluded unless it was felt quite unlikely that the technology would be available on a commercial scale by the year 2003. Where there was some doubt, the technology was included and assessed, keeping in mind that commercial availability was also a ranking criterion in the secondary commercial/economic evaluation.

A list of the technologies that passed the mandatory screening criteria for technical performance, environmental protection, and commercial availability follows. Technologies were grouped into three categories: Plasma, Incineration, and Other Non-incineration Technologies. It is important to note that plasma technologies typically involve inert atmospheres such as argon; thus, although they involve thermal destruction, they do not result in oxidation, which limits the potential production of dioxins and furans. Plasma technologies are therefore not considered to be incineration technologies.

Plasma Technologies (non-incineration)

- Inductively Coupled Radio Frequency (ICRF)
- Argon Plasma Arc
- Alternating Current (AC) Plasma

Other Non-incineration Technologies

- Solvated Electron
- UV Photolysis
- Gas Phase Chemical Reduction
- Catalytic Dehalogenation
- Liquid Phase Chemical Conversion
- Vitrification

Incineration Technologies

- High Performance Incineration
- Liquid Injection Incineration
- Rotary Kiln Incineration
- Gas/Fume Refractory-lined Combustion
- Internally Circulated Fluidized Bed (ICFB) Incineration
- Cement Kiln
- Reactor Cracking

As a result of this screening process, 16 out of the 42 technologies considered were found to satisfy the minimum requirements of technical performance and commercial availability. These included seven established incineration technologies and nine non-incineration technologies (three plasma technologies and six other non-incineration technologies). These 16 commercially available technologies were then evaluated based on environmental/technical criteria and commercial/economic criteria (Sections 2.3 and 2.4).

2.3 Environmental/Technical Evaluation

Destruction efficiency was an important issue in the examinations of ODS disposal technologies by the UNEP Technical Advisory Committee (UNEP, 1992; 1995). Besides the standard established as a mandatory criterion in the screening assessment, the disposal technology destruction efficiency criterion was also given very significant weighting (50%) in this environmental/technical evaluation. The 1992 UNEP report described a destruction efficiency standard of at least 99.99% as "readily achievable in well-designed and operated destruction facilities." Furthermore, it stated that this standard "strikes a balance between very high efficiency (>99.9999%) destruction facilities available to a limited market, and high efficiency (>99.99%) facilities available to a majority of the potential world market." (UNEP, 1992). There is also a balance, however, between destruction efficiency and other issues such as environmental impact, commercial availability, cost, and practicality. Therefore, even technologies with a destruction efficiency as low as 99.7% were considered. It should be noted that of the 16 evaluated technologies, only 2 had less than 99.99% destruction efficiency. Clearly, technologies used to dispose of ODS should have as high a destruction efficiency as is practical in order to minimize ultimate atmospheric emissions of ODS.

The destruction of ODS typically results in a variety of chemical by-products that may themselves become issues of concern if released to the environment. Different ODS disposal technologies produce different by-products, such as acid gases, greenhouse gases (GHGs) and/or halide salts. A criterion was included to favour those technologies that avoid generating emissions or wastes that may be toxic or may present significant issues in terms of atmospheric emissions or waste management. The scoring for this criterion was based on the production of "no emissions or waste" to "significant hazardous emissions or waste."

Two final criteria were included, as it was felt that some consideration should be given to favouring ODS disposal technologies associated with low energy consumption and with the recovery of useful chemical products.

Table 1 summarizes the raw data used to evaluate the technologies according to the environmental and technical criteria, along with notes identifying the source of the data and/or identifying estimates/assumptions that were used to determine individual values.

Table 2 lists the overall technology ranking scores resulting from the addition of all weighted evaluation scores for each technical evaluation criterion, with the total then converted in order to be expressed as a value out of 100.

This ranking of disposal technologies is not intended to disqualify or eliminate technologies at the lower end of the list from further consideration. All of these technologies satisfy the **minimum** performance requirements identified in the screening assessment. The ranking does, however, identify those technologies which best satisfy the environmental and technical criteria deemed most desirable for ODS disposal technologies. Of the top six technologies it is interesting to note that two represent existing facilities in Canada and four represent technologies available commercially in other countries (two in the United States, one primarily in Germany, and one in Australia). The foreign technologies could potentially be licensed for construction of facilities in Canada, or alternatively consideration could be given to exporting ODS for destruction.

Table 1 Technical Data for the Evaluation of Ozone-depleting Substances Disposal Technologies

Technology	Destruction Efficiency (%)	Dioxins and furans (ng/m^3)	Other Effluents	Energy Consumption (kWh/kg CFC)	Chemical Recovery
Incineration					
High Performance	99.99990 [b]	0.100 [a]	salt/GHG	1.71 [j]	No
Liquid Injection	99.99000 [a]	0.100 [a]	salt/GHG	1.30 [k]	No
Rotary Kiln	99.99000 [a]	0.100 [a]	salt/GHG	1.54 [l]	No
Gas/Fume	99.99000 [a]	0.100 [a]	salt/GHG	1.30 [l]	No
ICFB	99.99900 [b]	0.100 [a]	salt/GHG	1.30 [l]	No
Cement Kiln	99.99000 [a]	0.100 [a]	GHG	1.86 [m]	No
Reactor Cracking	99.99900 [b]	0.100 [b]	wastewater	1.55 [b]	Yes
Plasma (non-incineration)					
ICRF	99.99000 [b]	0.025 [b]	salt	3.70 [n]	No
Argon	99.99990 [b]	0.025 [b]	salt	2.30	No
AC	99.99000 [j]	0.025 [e]	salt	2.10 [o]	No
Other (non-incineration)					
Solvated Electron	99.99000 [b]	0.010 [d]	salt	10.00 [p]	No
UV Photolysis	99.90000 [b]	0.010 [d]	spent liners	10.00 [f]	No
Gas Phase Chem Red	99.99990 [c]	0.060 [b]	salt	1.38 [g]	No
Catalytic Dehalogenation	99.99900 [c]	0.010 [d]	salt	0.79 [h]	No
Liquid Phase Chem. Conversion	99.70000 [b]	0.010 [d]	salt	3.00 [b]	No
Vitrification	99.99990 [b]	0.100 [i]	glass frit	4.88 [b]	No

[a] Typical for conventional incineration
[b] Reported data
[c] Data reported for PCB; expect similar for CFC
[d] Claimed and expected to be near zero because low process temperature
[e] Assumed similar to ICRF plasma
[f] One expert estimated much higher value
[g] Estimated: high temperature but fuel recovered
[h] Estimated: moderate temperature
[i] Assumed could limit to acceptable level
[j] Operator reported lower value; adjusted as per expert comment
[k] Reported by expert for co-incineration
[l] Assumed similar to liquid injection
[m] Adjusted for 1400° C operation
[n] Reported and adjusted per Plascon cooling
[o] Estimated using 90% efficiency
[p] One reported value much higher

Table 2 Environmental/Technical Ranking of Ozone-depleting Substances Disposal Technologies		
Technology	**Rank**	**Evaluation Score**
Argon Plasma	1	76
Gas Phase Chemical Reduction	2	71
Catalytic Dehalogenation	3	69
Vitrification	4	69
Reactor Cracking	5	67
High Performance Incineration	6	65
ICFB Incineration	7	51
ICRF Plasma	8	46
Solvated Electron	9	45
AC Plasma	10	39
Cement Kiln Incineration	11	39
Liquid Injection Incineration	12	36
Gas/Fume Incineration	13	36
Rotary Kiln Incineration	14	36
Liquid Phase Chemical Conversion	15	31
UV Photolysis	16	30

2.4 Commercial/Economic Evaluation

The purpose of the selected ranking process is to provide up-to-date information on ODS disposal technologies with a focus on disposal cost and availability issues.

Analysis was based on the available information and the best judgement of the chemical engineers who were in consultation with industry, government, and academic experts. It should be emphasized that a detailed and rigorous cost analysis for each technology was beyond the scope of this document.

Although no minimal criterion for cost was established in the screening assessment, in practice cost will likely be one of the most important criteria determining how quickly and how efficiently stakeholders will act to collect and dispose of ODS surplus in Canada.

As with the destruction efficiency and the dioxins/furans criteria, commercial availability was used both as a criterion in the screening assessment and as a ranking criterion in the secondary analyses. Given that the technologies considered are expected to be commercially available for the disposal of Canadian surplus ODS by the year 2003, there remains much variability in terms of what "commercially available" means. Technologies for which commercial-scale operations exist and are currently in operation were scored higher than technologies that had only been proven to work in pilot-scale tests and where commercial facilities were planned subject to market conditions.

Some consideration was given to ODS disposal technologies that had a geographic proximity closer to Canada.

Table 3 lists the overall ranking scores resulting from the addition of all weighted evaluation scores for each evaluation criterion, with the total then converted and expressed as a value out of 100.

In most cases, direct cost information provided by destruction facility operators or technology suppliers was used; however, these data cannot be considered to be necessarily precise. Costs provided by destruction facility operators tended to be all-inclusive and generally made some allowance for operating overhead, waste

Table 3 Commercial/Economic Ranking of Ozone-depleting Substances Disposal Technologies

Technology	Rank	Evaluation Score
Cement Kiln Incineration	1	90
Argon Plasma	2	89
Rotary Kiln Incineration	3	88
Liquid Injection Incineration	4	88
Gas/Fume Incineration	5	88
High Performance Incineration	6	86
Catalytic Dehalogenation	7	84
Liquid Phase Chemical Conversion	8	83
Reactor Cracking	9	82
AC Plasma	10	80
Vitrification	11	80
ICRF Plasma	12	76
Gas Phase Chemical Reduction	13	69
ICFB Incineration	14	66
Solvated Electron	15	29
UV Photolysis	16	14

disposal, and depreciating capital costs. Estimates for new technologies tend to be optimistic, especially where there is limited operating experience, and they often include only direct operating costs. However, the operating costs for most destruction technologies are relatively high compared with the limited capital costs indicated, so the overall destruction cost will be most heavily influenced by operating costs.

Based on available cost estimates, destruction costs for incineration were assumed to be of the order of $5/kg on average, i.e., in the medium-to-high range for ODS disposal technologies, unless other specific information suggested otherwise. It should be noted that incineration costs have decreased significantly over the past ten years, and average costs could well be lower than this estimated value. The cost estimate for the Cement Kiln Incineration process is an approximate assumption of average operating costs given the fairly large range expected from one facility to another. Similarly, the operating cost figure for Gas Phase Chemical Reduction technology ($10/kg) was a conservatively high estimate based on an understanding of the details of the process.

Unlike the environmental/technical ranking, the commercial/economic ranking is not intended to address issues as to which is a "better" technology. Non-economic issues could suggest that technologies near the bottom of this ranked list might be more appropriate than others scoring higher. Should this be the case, the value of this exercise would be to identify potential economic barriers to such a technology selection. Again, the purpose is to provide regulators and stakeholders with current information regarding the commercial and economic issues associated with available ODS disposal technologies. All of these technologies satisfy the minimum requirements of technical performance and commercial availability. However, a few technologies score very low compared to most others and it is unlikely these would be pursued seriously.

The selection of a disposal technology will be made by stakeholders based on criteria judged to be important to them, and such criteria may not align with those used in this evaluation. Disposal costs, however, will likely dominate any commercial evaluation of technologies, as it does herein.

Storage, Transportation, and Regulatory Issues

3.1 Overview and Applicable Regulations

In Australia, where a significant amount of surplus halon has already been collected and destroyed over the past few years, all handling, transportation, labelling, and container requirements are covered by various national and state standards. Procedures for handling recovered product are not substantially different than those for virgin material; thus, there are no significant or special barriers to the handling and transportation of ODS for recycling or for destruction.

In the United States, the handling and transport of ODS are controlled by national (as opposed to state) legislation, and requirements are described in Sections 608 and 609 of the *United States Clean Air Act* (1990).

Regulations applicable to the handling of ODS in Canada depend on whether or not it is considered surplus (i.e., whether or not it is considered to be hazardous waste), and whether provincial or national borders are crossed in the case of transportation. The designation as hazardous waste is a critical issue, since this typically evokes a series of specific handling and manifesting requirements under federal and/or provincial regulations. It is highly recommended that provincial authorities be contacted prior to shipping any ODS to ensure correct classification and compliance with the *Transportation of Dangerous Goods Regulations* (TDGR).

Although it is important to distinguish between virgin and used material, in practice the key distinction is between ODS that is still a viable product in the commercial market and ODS that is considered surplus. A more precise definition of the former may be found in the TDGR, where waste specifically does not refer to "a product, substance or organism that is [...] returned directly to a manufacturer or supplier of the product, substance or organism for reprocessing, repackaging or resale, including a product, substance or organism that is [either] defective or otherwise not usable for the original purpose, or in surplus quantities but still usable for its original purpose." (Environment Canada, 1992). Transport of wastes may evoke use of the Federal Hazardous Waste Regulations.

In general, the ODS that is not considered hazardous waste or that is exempt from hazardous waste regulations may be handled, shipped, and used following typical commercial practices; the only restrictions apply to shipping outside of Canada, in which case the 1998 *Ozone-depleting Substances Regulations* (as well as the TDGR) would apply. The first regulations prohibit the export and import of virgin ODS for sale and use, as well as the import of reclaimed/recycled ODS; the latter, however, may be exported for sale and reuse provided the appropriate permit is obtained. Exports of ODS for the purposes of destruction are permitted subject to appropriate manifesting and control.

There are currently no restrictions in Canada on the refilling of equipment such as refrigeration units, air conditioning units, and fire extinguishing systems with appropriate CFCs or halons, with the exception of the refilling of automotive air conditioning systems and portable halon fire extinguishers, which are restricted under legislation in several provinces. *Canada's Strategy to Accelerate the Phase-Out of CFC and Halon Uses and to Dispose of the Surplus Stocks* was released by the CCME in May 2001. This initiative will lead to provincial legislation restricting the refill of such equipment with CFCs and halons over the next five years. Once refill is prohibited, significant

quantities of ODS in Canada will become surplus, since it can no longer be used for its intended purpose.

Besides virgin material, for which there may no longer be a commercial or permitted use, there are two main categories of ODS waste:

- waste destined for recycling, i.e., ODS that has impurities that, once removed or treated in some way, can be used in the originally intended application, or some other application; and

- waste destined for disposal.

Assuming neither is categorized as a hazardous waste under federal or provincial regulations, the former may be handled and shipped to permitted ODS recyclers, and the latter may be handled and shipped to permitted disposal facilities following appropriate procedures described in the following (i.e., in the case of compressed gases, the TDGR would apply).

Once ODS is considered surplus, it becomes hazardous waste by definition. That is, once there is no longer a market for a virgin or used CFC or halon material, and no further possibility exists for reclaiming, recycling, or reusing the ODS, and it cannot be exported for such purposes or for any other purpose than for destruction, it is automatically considered a controlled substance and a hazardous waste. An ODS that is moved from one company to another, or shipped for use in another application, is not considered hazardous waste as long as nothing had to be done to treat it or modify it in some way.

Once a substance is considered a hazardous waste, either provincial or federal regulations (or both) control its transport and handling. Manifesting and regulations applicable to the transport of hazardous waste differ depending on whether borders are crossed, and depending upon which borders are crossed. i.e., whether they are provincial or national. If the substance is shipped outside Canada, Environment Canada's Transboundary Movement Branch is the regulating authority, and the transport and handling of the substance is regulated by the *Export and Import of Hazardous Wastes Regulations* under CEPA legislation (Environment Canada, 1992). If a provincial boundary is crossed, this activity falls under the interprovincial responsibilities of Transport Canada, i.e., transport and handling would be controlled by the TDGR. If movement is limited entirely within one province, then the province in question has sole jurisdiction and only provincial regulations apply. All of these regulations describe specific prescriptions for controlling the handling, storage, and transportation of hazardous wastes, including detailed manifesting provisions.

Appendix A lists federal and provincial contact persons who may be of help in determining whether and which hazardous waste regulations apply in individual cases. Another helpful contact is the Transboundary Movement Branch of Environment Canada, tel. (819) 953-3378.

It is important to note that a substance may be considered a hazardous waste under provincial regulations even though it is not considered a hazardous waste under national regulations. For example, in Ontario, used R-11 and R-12 are both considered hazardous waste (O. Reg. 347 (R50 1990)) even if they may be reclaimed and recycled for further commercial use. However, if the R-11 or R-12 material meets specific requirements set out in the regulation (i.e., if it is to be 100% recycled, or sent to a wholesaler who intends to collect the ODS and send it to a recycler or to a hazardous waste disposal facility), the material is exempted from hazardous waste regulations and can be transported relatively simply by following basic procedures described in the TDGR. This exemption, therefore, provides an important mechanism allowing stakeholders to handle and transport surplus and reclaimable ODS in Ontario without having to follow handling and manifesting procedures applicable to hazardous wastes.

Most provincial manifesting follows the procedures used by Environment Canada's

Transboundary Movement Branch quite closely, although some provinces have certain specific exemptions or special provisions, as just described. In practice, the environmental aspects of interprovincial movement of dangerous goods is handled by Environment Canada. Under the new CEPA, this area of responsibility has been transferred from Transport Canada to Environment Canada. Transport Canada (i.e., the TDGR) remains responsible for details such as packaging protocols, labelling, etc. In terms of tracking or maintaining an inventory of hazardous waste movement, provinces are responsible as long as this movement is within Canada, and this information is available on the interprovincial manifests applicable to each shipment. Information on the ultimate disposal of the material would be obtained from the destruction facility, and this activity falls under provincial jurisdiction. For transportation outside of Canada for the purposes of destruction, as noted, the Transboundary Movement Branch of Environment Canada is the regulating authority, and an export permit is required. Environment Canada is responsible for contacting its international counterparts (e.g., USEPA in the United States) to ensure that there is an ultimate and acceptable destination for the wastes, and will also insist on receiving a certificate of disposal to ensure that the material reached its destination and was destroyed.

3.2 Storage, Handling, and Transportation

3.2.1 Overview. The requirements applicable to CFCs and halons in Canada for substances that are not considered hazardous wastes, or that are exempt from hazardous waste regulations for the purpose of transport for recycling, reclaiming, or disposal, are discussed in this section. In general, stakeholder feedback has indicated that if an ODS is considered to be a hazardous waste, the required handling and manifesting procedures would create a significant barrier to the collection and destruction of surplus ODS in Canada. Unless some exemption mechanism is provided to allow stakeholders to store and ship ODS to collection facilities without having to satisfy requirements normally applicable to the handling of hazardous waste (as is the case in Ontario for R-11 and R-12, for example), a collection program may not work in practice.

As previously stated, handling procedures, and in particular manifesting requirements, for ODS that is considered hazardous waste are complex, and these cannot be covered in detail within the scope of this document. The reader is advised to consult Appendix A for a list of provincial and federal contacts for further information regarding regulations and procedures applicable to hazardous wastes.

Assuming the ODS is not a hazardous waste and will not cross international borders, handling procedures are relatively straightforward. The key regulations to consider are the TDGR, which are administered by Transport Canada. Various regulations and documents most applicable to these issues are listed in Table 4.

The two major categories of ODS in this context are:

- low pressure CFCs that are liquids at room temperature (e.g., R-11, R-113, and R-123); and

- high pressure CFCs and halons that are compressed gases at room temperature (e.g., the CFCs R-12, R-22, R-114, R-500, R-502, and the halons 1211 and 1301).

Low pressure CFCs are not specifically controlled by the TDGR. Such ODS may therefore be stored and handled in regular drums with adequate labelling as per normal commercial practices (i.e., similar to the containers and labelling procedures used when purchasing the virgin or reclaimed product). They may be transported within Canada without any specific manifesting requirements, although normal record-keeping procedures are required by provincial and federal regulations. The reader should also be aware of the recommended procedures for ODS handling, reporting, training of personnel, etc., that are

contained in the *Environmental Code of Practice for Elimination of Fluorocarbon Emissions from Refrigeration and Air Conditioning Systems* and the *Environmental Code of Practice on Halons*, both available from Environment Canada (Environment Canada, 1996; 1997).

High pressure CFCs and halons are considered "dangerous goods" under the TDGR. Specifically, they are considered either Class 2.2 compressed gases (non-flammable, non-toxic) or Class 6.1 compressed gases (non-flammable, toxic; e.g., chloroform). Virtually all ODS currently in use are Class 2.2 compressed gases; Schedule II of the TDGR should be consulted to verify the classification in specific cases. The following discussion deals mainly with the storage, handling, and transport of Class 2.2 compressed gases. Stakeholders dealing with toxic compressed gases in specific cases (i.e., Class 6.1 gases) should be aware of the existence of considerably more stringent requirements for these substances.

3.2.2 Containers. The TDGR prescribe specific requirements for approved cylinders that may be used to contain the ODS, for labelling and for the training of personnel who will be handling the material. Before 1992, cylinders used for compressed gases were considered acceptable if they were approved under either Canadian Transport Commission (CTC) or U.S. Department of Transport (DOT) regulations. After 1992, cylinders for such use had to be approved by Transport Canada (TC). Cylinders to be used for containing, storing, and transporting CFCs and halons that are compressed gases must therefore be TC-approved at the appropriate pressure rating.

The pressure rating for most CFCs is typically 260–400 pounds per square inch (psi). In the case of R-13, cylinders must be TC-approved for use at 1800 psi (R-13 is a relatively rare refrigerant used for very low temperature refrigeration in special applications).

More specifically, the appropriate cylinders permitted to be used for the collection, storage, and transportation of ODS in Canada must:

Table 4 Regulations and Documents Relevant to the Handling of Surplus Ozone-depleting Substances

Regulation/Document	Reference
Cylinders, Spheres, and Tubes for the Transportation of Dangerous Goods	National Standard of Canada CAN/CSA-B339-88
Environmental Code of Practice for Elimination of Fluorocarbon Emissions from Refrigeration and Air Conditioning Systems	Environmental Protection Service, Environment Canada. Report EPS 1/RA/2. March 1996.
Environmental Code of Practice on Halons	Environmental Protection Service, Environment Canada. Report EPS 1/RA/3. July 1996.
Export and Import of Hazardous Wastes Regulations	Environment Canada, Transboundary Movement Branch. SOR/92-637. November 12, 1992. www.ec.gc.ca/tmd/regs.htm
Federal Halocarbon Regulations SOR/DORS 99-255, June 17, 1999	Environment Canada www.ec.gc.ca/ozone
Ozone-depleting Substances Regulations, 1998 SOR/DORS 99-7, December 16, 1998	Environment Canada www.ec.gc.ca/ozone
Packing for Transportation of Dangerous Goods in Prescribed Packagings	CGSB Provisional Standard 43-GP-152MP. (See Part V of TDGR.)
Regulations Respecting the Handling, Offering for Transport and Transporting of Dangerous Goods	Transport Canada 1999 www.tc.gc.ca/Actsregs/TDG/english/part-i.html

a) conform with the National Standard of Canada CAN/CSA-B339-88, *Cylinders, Spheres, and Tubes for the Transportation of Dangerous Goods*, dated February 1988 and amended January 1992 and February 1993; or

b) be cylinders having an initial test date of December 31, 1992 or earlier.

Cylinders containing virgin CFCs must be tested and recertified every 12 years. Used CFCs may be highly corrosive, however, and cylinders containing these materials must be tested and recertified every five years. The key issue for Canadian stakeholders is that cylinders that are already filled with CFCs may be shipped to a recycling facility that is capable of degassing and recertifying the cylinder, even if it is past the five-year limit (in the case of used product) or 12-year limit (in the case of virgin material) for recertification. Cylinders that are out of date, however, may not be refilled once they are empty.

In 1994, DuPont Canada initiated a successful program to recover a significant portion of existing CFC stock previously sold. A large number of cylinders were approved and made available for this purpose, and many of these are still in use. Technically, the permission of the original owner of the cylinder is required in order for it to be used to collect and store or transport CFCs. However, to deal with liability issues, DuPont issued a recall of all of its cylinders, and as a result, it is now the responsibility of the company in possession of these cylinders to maintain and re-certify them. In addition, Part V of the TDGR provides various national standards, and particularly the CGSB Provisional Standard 43-GP-152MP, *Packing for Transportation of Dangerous Goods in Prescribed Packagings*, that apply to the packaging and containers used for the transport of dangerous goods such as compressed gases. Further specifics concerning standards applicable to containers used for Class 2 gases may be found in section 7.32 of the TDGR. Schedule IX of the TDGR contains a list of standards applicable to packaging and containers for dangerous goods. Schedule VIII of the TDGR describes specific standards for the inner and outer packaging of Class 2.2 compressed gases, and CFCs in particular.

3.2.3 Documentation, Labelling, Handling, and Personnel Training Requirements. It should be noted that in general, many of the provisions in the TDGR applicable to poisonous gases also apply to corrosive gases such as used ODS.

Specific documentation for shipments of ODS that are compressed gases, as prescribed by the TDGR, varies depending on whether the shipment involves interprovincial or international border crossing. The appropriate section describing required documentation may be found in Part IV of the TDGR (see in particular sub-section 4.4, Dangerous Goods Other Than Waste).

For ODS that are compressed gases, requirements concerning safety marks, labelling, and product identification numbers (PINs) are described in Part V and in Schedule V of the TDGR, in particular those sections applicable to dangerous goods in general and to corrosive gases. See also the CGSB Provisional Standard 43-GP-152MP, *Packing for Transportation of Dangerous Goods in Prescribed Packagings*, referred to in this section.

Detailed descriptions of handling procedures applicable to Class 2.2 compressed gases may be found in Parts VII and VIII of the TDGR, which cover the following items:

- notification;
- emergency response assistance planning;
- preparation of means of containment;
- reuse of drums;
- discharge, emission or escape of dangerous goods from packages and small containers;
- handling, including loading procedures; and
- standards applicable to containers.

Training requirements for personnel handling dangerous goods are found in Part IX of the TDGR, which also discusses reporting requirements in the case of accidental releases. Table 1 of Part IX of the TDGR indicates that immediate reporting of any accidental release of a Class 2.2 compressed gas is required only if a minimum of 100 L is released.

Recommendations

Much of the information presented in this document is intended to provide background knowledge to individuals interested in the disposal of ODS, and to assist regulatory bodies in reviewing and approving any proposed ODS destruction facilities.

All of the ODS disposal technologies reviewed for this Guidance Document passed the minimum performance criteria set by Environment Canada for evaluating various technologies. Forty-two different technologies were examined; 26 of them failed to qualify for final evaluation because they would not be commercially available by the year 2003. These technologies, however, should be re-evaluated in the future and they may, at some point, offer viable alternatives to the 16 technologies outlined herein.

The following criteria are recommended to be used in evaluating ODS disposal facilities.

Destruction Removal Efficiency. Destruction facilities should achieve a minimum destruction removal efficiency of 99.9999% for ODS. This level is already regulated in several provinces.

Dioxin/Furan Formation. The Canada-wide Standard (CWS) for stack emissions of dioxins and furans during ODS destruction is proposed at 0.08 ng/m^3 toxic equivalence (TEQ). Although not official at the time of publication of this document, it is recommended that this level be used for destruction facility evaluation.

Particulate. Destruction facilities should achieve a maximum particulate emission of 10 mg/m^3. This level is currently being proposed for input into the Federal Hazardous Waste Regulations.

Other Factors. The destruction facility must have plans to dispose of any waste material generated by the destruction of the ODS. The facility must also conform to either provincial or federal standards for the storage, handling, transportation, and disposal procedures of Ozone-depleting Substances, whichever is more stringent.

References

Canada Gazette. 2000. Regulations Amending the Ozone-depleting Substances Regulations, 1998. Canada Gazette, Part II, Vol. 135, No. 1 (SOR/2001-2). December 13, 2000.

———. 1995. Ozone-depleting Substances Regulations. Canada Gazette, Part II, Vol. 129, No. 26 (SOR/95-576). December 7, 1995.

Cantox Environmental Inc. 2000. Guidance Document on Disposal Technologies for Ozone-depleting Substances (ODS) in Canada, Project No. K2617-9-0037, for Environment Canada, Environmental Technology Advancement Directorate, Hull, Quebec, March 31, 2000.

CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). 2001. Canada's Strategy to Accelerate the Phase-Out of CFC and Halon Uses and to Dispose of the Surplus Stocks. CCME PN 1316 (ISBN 1-896997-13-9). May 2001. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg, Manitoba.

———. 2000. Canada-wide Standards for Dioxins and Furans. Accepted June 6, 2000 and endorsed on May 1, 2001. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg, Manitoba. *www.ccme.ca*. (refer to "CCME Priorities").

———1998. National Action Plan for the Environmental Control of Ozone-depleting Substances (ODS) and their Halocarbon Alternatives. Prepared by the Federal Provincial Working Group on Controls Harmonization–ODS (later called the Federal-Provincial Working Group on Ozone-Depleting Substances and Their Halocarbon Alternatives). CCME PN 1291. January 1998. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg, Manitoba. *www.ec.gc.ca/ozone/nap-pan/nap_e.htm*

Environment Canada. 2000. Canada's Proposed Strategy to Accelerate the Phasing-Out of Uses of CFCs and Halons and to Dispose of the Surplus Stocks. Federal Provincial Working Group on Controls Harmonization–ODS (later called the Federal-Provincial Working Group on Ozone-Depleting Substances and Their Halocarbon Alternatives). January 14, 2000. Environment Canada, Hull, Quebec. *www.ec.gc.ca/ozone/tocnews.htm*

———. 1998. Options for the Management of Surplus Ozone-depleting Substances in Canada. Prepared by Shapiro & Associates (project # K2218-7-0027). June 11, 1998. Environment Canada, Hull, Quebec.

———. 1997. Environmental Code of Practice on Halons. Report EPS 1/RA/3, Environment Canada, Commercial Chemicals Evaluation Branch, Ozone Protection Programs Section, Hull, Quebec. *www.ec.gc.ca/ozone/firecode.htm*

———. 1996. Environmental Code of Practice for Elimination of Fluorocarbon Emissions from Refrigeration and Air Conditioning Systems. Report EPS 1/RA/2. March 1996. Environment Canada, Environmental Protection Service, Hull, Quebec.

———. 1992. Export and Import of Hazardous Wastes Regulations. SOR/92-637, November 12, 1992. Environment Canada, Transboundary Movement Branch, Hull, Quebec. *www.ec.gc.ca/tmd/regs.htm*

NATO (North Atlantic Treaty Organisation). 1988. Scientific Basis for the Development of International Toxicity Equivalency Factor (I-TEF), Method of Risk Assessment for Risk Assessment of Complex Mixtures of Dioxins and Related Compounds. Report No. 176, North Atlantic Treaty Organization/ Committee on the Challenge of Modern Society, Washington, DC.

OAG (Office of the Auditor General). 1997. 1997 Report of the Auditor General of Canada. *Chapter 27, Ozone Layer Protection: The Unfinished Journey.* Office of the Auditor General of Canada and the Commissioner of the Environment and Sustainable Development. December 1997.

UNEP (United Nations Environment Programme). 1997. Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer: Technology and Economic Assessment Panel. Vol. 1. United Nations Environment Programme, 1997.

———. 1995. 1995 ODS Disposal Technology Update: Report of the Technology and Economic Assessment Panel ODS Disposal Subcommittee Workshop held in Montreal, Canada, May 2-3, 1995. June 1995.

———. 1992. Report of the *Ad Hoc* Technical Advisory Committee on ODS Destruction Technologies. United Nations Environment Programme. May 1992.

United States Clean Air Act. 1990. Clean Air Act Amendments. Pub. L. 101-549, 104, Stat. 2399, Nov. 15, 1990.

Van den Berg, M., L. Birnbaum, B.T.C. Bowveld, B. Brunstrom, P. Cook, M. Feeley, J.P. Giesty, A. Hanberg, R. Hasegawa, S.W. Kennedy, T. Kubiak, J.C. Carsen, F.X.R. van Leeuwen, A.K.D. Liem, C. Nolt, R.E. Peterson, L. Poellinger, S. Safe, D. Schrenk, D. Tillitt, M. Tysklind, M. Younes, F. Waern, and T. Zacharewski. 1998. Toxic Equivalency Factors (TEFs) for PCBs, PCDDs, PCDFs, for Humans and Wildlife. *Environ. Health Perspect., 106:*775–792, 1998.

Hazardous Waste Task Group Members

Name	Phone	Fax	E-Mail
Betty Smith (Chair) Ontario	(416) 314-7917	(416) 314-9411	smithbe@ene.gov.on.ca
Rob Dalrymple British Columbia	(250) 356-9973	(250) 953-3856	rdalrymp@epdiv2.env.gov.bc.ca
Brent Baxter Nova Scotia	(902) 424-2534	(902) 424-0503	baxterbk@gov.ns.ca
Simone Godin New Brunswick	(506) 453-3855	(506) 453-2390	simoneg@gov.nb.ca
Toby Matthews Newfoundland	(709) 729-5793	(709) 729-6969	matthews@env.gov.nf.ca
Glenda MacKinnon-Peters Prince Edward Island	(902) 368-5047	(902) 368-5830	gcmackinnon-peters@gov.pe.ca
Benoît Nadeau Quebec	(418) 521-3950 ext. 4955	(418) 644-3386	benoit.nadeau@mef.gouv.qc.ca
Joe Wittwer Canada	(819) 953-2171	(819) 997-3068	joe.wittwer@ec.gc.ca
Don Labossière Manitoba	(204) 945-7094	(204) 948-2420	dlabossier@env.gov.mb.ca
Tony Fernandes Alberta	(780) 427-0636	(780) 422-4192	antonio.fernandes@gov.ab.ca
Roger Hodges Saskatchewan	(306) 787-9301	(306) 787-0197	roger.hodges.erm@govmail.gov.sk.ca
Bryan Levia Yukon	(867) 667-3436	(867) 393-6205	bryan.levia@gov.yk.ca
Ken Hall Northwest Territories	(867) 920-6476	(867) 873-0221	Ken_Hall@gov.nt.ca
Robert Eno Nunavut	(867) 975-5907	(867) 975-5982	reno@gov.nu.ca
Diane Kunec CCME	(204) 948-2757	(204) 948-2125	dkunec@ccme.ca

Description of Commercially Available Ozone-depleting Substances Disposal Technologies

This Appendix describes **Commercially Available** technologies that passed the initial screening assessment, i.e., those that met the mandatory requirements of technical performance, environmental emissions, and commercial availability. These ODS disposal technologies are described in terms of process type and specific features. Process descriptions are presented with a discussion of the operating history of the technology, as well as an evaluation of the commercial availability of the technology and most recent cost information.

NOTE: All dollar figures in this document are expressed as year 2000 Canadian dollars unless otherwise specified.

B-1 Plasma Technologies (Non-incineration)

Plasma, which is often described as the fourth stage of matter, is a mixture of electrons, ions and neutral particles at temperatures between 5000 and 20 000 Kelvin (K). This high-temperature, ionized, conductive gas is created by the interaction of a gas with an electric arc or magnetic field. Thermal plasmas are the source of reaction species at high temperatures that favour kinetic reactions.

Ionization of gases is not a combustion process. This is a process to convert electrical energy directly to thermal energy at high temperatures. Applying reaction heat with plasma technology renders it possible to control heat and the chemical environment independently. For example, it is possible to heat a reducing gas to a high temperature without the use of oxygen, or to obtain an oxidizing environment without the introduction of any fuel. Thermal plasmas can be generated by passing an electric current through a gas between electrodes, by radio frequency (RF) or AC discharge without electrodes, or by microwaves.

The choice of using a direct current (DC) plasma torch is based on its commercial availability at a power range up to 2 megawatts (MW) and at reasonably high-energy efficiencies. The efficiency of the transformer and rectifier together is generally 95–98%, while the transfer of electrical energy to thermal energy is normally in the range of 65–85%. Since losses are generally associated with the need to cool the torch with water, the higher efficiencies are achieved at higher gas flow rates and at higher power levels. With a DC plasma torch, plasma gases such as argon, nitrogen, air, and argon/hydrogen can be used and plasma volume is relatively small with high energy density.

Inductively coupled plasma torches are used in RF applications and energy coupling to the plasma is accomplished through the electromagnetic field of the induction coil. The absence of electrodes allows operation with a large range of gases, including inert, reducing or oxidizing atmospheres. In fact, the ability to use steam alone as the gas offers a cost saving compared to the AC plasma torch, which generally requires an inert gas such as argon. This kind of discharge produces a relatively large plasma volume. These plasmas are common at power levels up to 100 kW and scale-up has been demonstrated up to the 1 MW range. The transfer from line AC to high frequency AC is quite efficient at about 95%. Efficiencies of coupling AC current in the coil to the plasma fireball of 65–75% have been reported with tube-type oscillation power supplies and up to 90% with solid-state power supplies. However, an expert suggested efficiencies up to 50% were more probable for commercial units.

More recently, AC plasmas have been reported which are produced from 480V 3-phase power at 60 Hz stepped up through a high voltage transformer. Significantly, there is no need for high frequency AC as in the RF plasma. The equipment required to produce these plasmas is much smaller and less costly than that required for RF plasmas. Electrical efficiencies are higher than these for DC plasmas because there is no need for rectification and the electrical to thermal conversion is 85–90% efficient. The AC plasma volume produced is also large, comparable to that produced by RF. This technology was developed in Russia and has been further refined by Scientific Utilization International, of Huntsville, AL over the last seven years. There has been very little published about this technology.

During the past decade plasma technology has evolved as one of the more promising innovative technologies for the thermal destruction of hazardous wastes. The current interest in applying plasmas to the destruction of hazardous wastes is related to the availability of both DC and RF plasma torches in the power range 0.3–1.0 MW. The most notable use of this technology for ODS disposal is in Australia's halon and CFC destruction program, discussed in the following text.

B-1.1 Argon Plasma Arc. PLASCON, an argon plasma arc process, was developed in Australia by SRL Plasma Ltd. in conjunction with the Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO). The process was developed over an eight-year period and commercialized in 1992. Following extensive pilot studies on various CFCs and halon compounds in 1993, the PLASCON system was provided to the Department of Administrative Services Centre for Environmental Management (DASCEM) for the destruction of Australia's surplus halons and CFCs. The plant was commissioned in 1996 and since then about 1000 tonnes (t) of Halon 1011 and about 100 t of CFCs have been destroyed at destruction rates of 115–120 kg/h. Key advantages of this process are the very high destruction efficiencies and negligible dioxins/furans emissions demonstrated on a commercially operating system. Costs are reported to be of the order of $2.75/kg.

PLASCON is an "in flight" plasma process, which means that the waste mixes directly with the argon plasma column. Argon was selected as the plasma gas since it is inert and does not react with the torch components. Waste is rapidly heated [one millisecond (1 ms)] in the reaction chamber (a flight tube) to about 3000° C, where pyrolysis occurs in about 20 ms. Oxygen is added at the injection manifold to ensure that any carbon formed during pyrolysis is converted to carbon monoxide. Pyrolysis is followed by rapid (2 ms) alkaline quenching from 1500° C to <100°C. Such rapid quenching prevents the formation of dioxins and furans. The cool gas from the quench is further scrubbed with alkaline liquor in a counter-current packed column to neutralize HCl and other acid gases. The off-gas from the column, which consists mainly of CO, H_2, Ar, and some CO_2, then passes to a small ground flare that converts CO to CO_2 and H_2 to H_2O.

A destruction efficiency of 99.9999% has been achieved at destruction rates of 150 kg/h. On-stream factors have run at about 80% due to problems in the flight tube and injection manifold associated with the very hot operating conditions. The halide salt solution from the scrubbing system is stored and discharged on weekends to Melbourne's municipal wastewater treatment system during periods of reduced industrial activity.

B-1.2 Inductively Coupled Radio Frequency (ICRF) Plasma. In 1994, several Japanese researchers from government, academia, and industry collaborated in experiments that demonstrated the destruction of CFC-12 and Halon 1301 in a pilot-scale Inductively Coupled Radio Frequency Plasma (ICRFP) reactor. Based on these pilot plant results, a demonstration plant was constructed at the Chiba prefecture by a consortium of industrial concerns under the auspices of the Ministry of International Trade and Industry (MITI). The demonstration plant operated from April 1993 to March 1996 by which time

2.443 t of CFC-12 had been destroyed. A major advantage claimed for RF plasma over DC plasma is the elimination of electrodes that are known in DC plasmas to be subject to corrosion. The RF plasma also has a slower gas flow rate and a larger plasma flame that results in higher residence time. This process has demonstrated high destruction efficiencies and very low PCDD/PCDF emissions on a scale approaching commercial scale. It is also possible that the RF approach may lead to increased on-stream time over that observed in the PLASCON process previously described. No operating costs for a commercial-scale unit are reported but are estimated to be somewhat less than indicated for the PLASCON process because argon is not required; that is, costs are expected to be of the order of $2.50/kg.

Plasma temperatures of 10 000° C were achieved in the 185 kW torch and destruction efficiencies of at least 99.99% were demonstrated at feed rates of about 50 kg/h. The equipment for the demonstration plant is essentially the same as that used in the pilot plant except for the electric power supply, which was 132 kW (2.4 MHz, 8.8 kV, 15.0 A). Gaseous CFCs and steam are fed through the plasma torch where they are heated and enter directly into the destruction reactor maintained at about 2000° C for about 2 seconds. Subsequently, the gases are cooled and scrubbed with caustic solution to remove acid gases. Testing for trace toxic emissions during the demonstration measured 0.01 ng/m^3 total PCDDs and 0.01–0.02 ng/m^3 total PCDFs TEQ.

B-1.3 Alternating Current (AC) Plasma. Scientific Utilization International (SUI) designs systems incorporating their patented Plasmatron AC plasma for the destruction of hazardous wastes. These plasmas have only recently been developed to the stage where they are being applied to hazardous or toxic waste destruction. AC Plasma has not yet been commercially applied to the destruction of ODS, but CFC was destroyed to non-detectable levels in a 500 kW demonstration unit. A 1 MW AC plasma system was shipped in February 2000 to the United States Customs Service in California for destruction of narcotics. The technology satisfies USEPA and State of California environmental requirements. SUI is prepared to offer Plasmatron systems designed for the destruction of ODS. No cost information was provided, but destruction costs are estimated to be less than PLASCON because of better reliability and its ability to use air as the working gas; that is, $2.50/kg.

As discussed previously, the AC plasma is produced directly with 60 Hz high voltage power but in other respects is similar to the inductively coupled RF plasma. The system is electrically and mechanically simple and is thus claimed to be very reliable. Also, the Plasmatron process can tolerate a wide variety of working gases, including air, and can also tolerate oily gases. While some information is available describing the plasma generator and its associated equipment, no information was provided describing the destruction process, but it is probably similar to the PLASCON process.

B-2 Other Non-incineration Technologies

B-2.1 Solvated Electron. Commodore Advanced Sciences, Inc. of Albuquerque, New Mexico, developed a process for the destruction of ODS in the early 1990s based on solvated electron solutions formed by dissolving metallic sodium in ammonia. A US patent for the process was issued in 1995. While developed specifically for ODS destruction, the process has never been commercially applied to ODS destruction because of lack of demand. It has been applied successfully to PCB destruction and is currently being applied to the destruction of chemical warfare agents. A major advantage of the process is its simplicity. A disadvantage is the lack of demonstration of ODS destruction on a commercial scale; although there appears to be little doubt that the process could be successfully applied for that purpose.

Handling metallic sodium presents safety issues and will require careful attention to operating procedures. Finally, operating cost depends heavily on the cost of metallic sodium.

The solvated electron process is a batch process operated at atmospheric pressure using two simple vessels: one a heated reaction vessel, and the other a refrigerated ammonia recycle vessel. The ODS compounds are decomposed in the reaction vessel with liquid ammonia and metallic sodium. It is expected that no dioxins and furans would be produced by this process since it does not involve oxidation and operates at relatively low temperatures. No atmospheric emissions result from the decomposition of the original ODS material. Only non-toxic waste products such as sodium chloride, sodium fluoride, biodegradable organic compounds, and water are formed. Methane and ethane are also produced as by-products. Metallic sodium is consumed in the process and is the major component of operating cost. About 95–98% of the ammonia is recycled and hence does not contribute much to operating cost. This process was demonstrated on a pilot scale to destroy carbon tetrachloride, several CFCs, HFCs, refrigerant blends, and halons at greater than 99.99% efficiency. Destruction costs are claimed to range from about $9.00–$13.75/kg of CFC (an approximate average of $11.00/kg was used for ranking purposes).

B-2.2 UV Photolysis. Process Technologies, Inc. (PTI) of Boise, ID developed and patented a proprietary process for the destruction of chlorinated compounds including ODS based on UV photo-dissociation. The process has never been commercialized for ODS destruction due to lack of demand. Advantages of the PTI process are that it is a non-thermal process achieving high destruction efficiencies without dioxin/furan formation, the liner prevents the formation of HF and HCl in the exhaust, and the process is simple and modular in design. Costs are reported to be about $11/kg of ODS. It was not possible to obtain further information from PTI; the technology may no longer be actively promoted.

UV Photolysis involves mixing the ODS material in the gaseous state with air and leading the mixture into a reactor fitted with low pressure mercury ultraviolet (UV) lamps emitting light wavelengths in the range of 185–254 nm. Photons emitted from these lamps are capable of breaking apart the chemical bonds of the ODS molecule, forming free radicals. PTI affixes a dry, porous reagent liner to the inner surface of the reaction chamber that chemically reacts with the free radicals produced by the photochemical destruction of the ODS molecules. The chemical reaction forms stable, inorganic, solid reaction products within the liner material. The only other by-products from the photochemical destruction of ODS are CO_2, water vapour, and air. Laboratory bench and pilot-scale tests with a feed rate of 11.4 kg of Halon 1211 per day demonstrated destruction efficiencies of 99.66%. Test results on other ODS demonstrated destruction efficiencies greater than 99.9%. It was believed optimized commercial equipment would achieve greater than 99.99% destruction efficiency. No formation of dioxins and furans is expected due to the low temperature of the entire process. The liner is a PTI proprietary mixture of calcium oxide, calcium hydroxide, magnesium hydroxide, and other ingredients. Spent liners are not a hazardous waste as defined by the United States Resource Conservation and Reclamation Act (RCRA) and can be disposed of as an ordinary solid waste, or even recycled as a cement ingredient.

B-2.3 Gas Phase Chemical Reduction. Eli Eco Logic International Inc. (ECO LOGIC) of Rockwood, Ontario developed and commercialized the ECO LOGIC Gas-Phase Chemical Reduction process. ECO LOGIC applied for a patent for this core technology in 1986. The proprietary process is a non-incineration technology suitable for destroying organic wastes in all matrices including soil, sediment, sludges, high-strength oils, watery wastes, and bulk solids such as electrical equipment. ECO LOGIC has destroyed PCB and DDT wastes on a commercial scale, and has considerable laboratory and field data on many other hazardous wastes including chemical warfare agents. ECO LOGIC supplies fixed systems and provides treatment services with transportable systems. The major advantage of this process

is the very high destruction efficiencies achieved. The transportability of the process may also prove beneficial. The major drawback is the lack of experience on any scale in destroying ODS, although the process has been proven on PCBs. Precise cost information is not available, although the process would be expected to be fairly expensive. As an approximate estimate, a high default value of $10/kg was used for ranking purposes.

The liquid or gas is preheated with boiler steam before injection through atomizing nozzles into the reactor. The gas mixture from the atomizing nozzles swirls around a central stainless steel tube and is heated by vertical radiant tubes with internal electric heating elements to a temperature of about 850° C. The process reactions take place from the bottom of the central tube onwards and take less than one second to complete. Organic compounds are ultimately reduced to methane, hydrochloric acid, and (reportedly) minor amounts of low molecular weight hydrocarbons. Destruction and removal efficiencies for PCB and DDT wastes were shown to be greater than 99.99999% (seven nines) and 99.9999% (six nines), respectively. Some formation of dioxins and furans at operating temperature is possible, and levels of 40–80 pg/m^3 have been reported. The hydrochloric acid is neutralized by addition of caustic soda during initial cooling of the process gas. An attached multi-stage scrubbing system removes inorganics from the reacted gas stream. The product gas, composed primarily of hydrogen and methane, is subsequently used as fuel for system components.

B-2.4 Catalytic Dehalogenation. Hitachi Corp. of Tokyo, Japan has developed a catalytic dehalogenation process and claims operating costs of about $2.85–4.30/kg CFC. Capital costs were estimated at about $430 000 for a 1 kg/h system and $1.43 million for a 10 kg/h system. A Canadian stakeholder is currently negotiating rights to similar technology from a US licensor. This process has been commercialized for PCB destruction and has been applied to numerous other chlorinated compounds, but has not yet been applied to the destruction of ODS. Laboratory tests were under way and a report on CFC destruction was expected in March 2000. Commercial destruction of PCBs has demonstrated a destruction efficiency of 99.9998%. It is claimed that no dioxins or furans are produced in the process. Destruction costs are anticipated to be consistent with the figures described previously. The key advantage of this technology is the expected low destruction cost, which results primarily from the low operating temperature relative to incineration technologies. This process is also very efficient in destroying CFCs and avoiding formation of dioxins and furans.

In this process, CFCs are destroyed over a proprietary metal oxide catalyst at 400° C at atmospheric pressure. The HCl and HF produced are absorbed in a lime solution. Destruction efficiencies greater than 99.99% were achieved for CFC-12. Dioxin/furan data are not available, although formation of these compounds would be expected to be minimal at these operating temperatures.

B-2.5 Liquid-Phase Chemical Conversion. This mobile system technology was developed by Ontario Hydro Technologies to destroy a variety of wastes. Two mobile units are currently in operation for PCB destruction. Although commercial destruction of ODS is not available using this process, Ontario Hydro has indicated that modifications to existing equipment, demonstration testing, and regulatory approval could be obtained in a relatively short time (3–4 months), should a demand for this service materialize. Costs are estimated to be less than incineration costs for ODS, based on extrapolation from experience with PCB waste disposal.

This technology uses a liquid-phase chemical conversion process operating at between 80 and 120°C, where ODS is reacted with a blend of potassium hydroxide and polyethylene glycol. Based on lab-scale demonstrations, the destruction efficiency is greater than 99.7% for CFCs and halons. It has been tested on ODS in pilot-scale tests and is used commercially for PCB wastes. The process is claimed to require a

low capital investment and to be almost emission free. No dioxins/furans are generated in this relatively low-temperature process.

B-2.6 Vitrification. This process is offered by Pure Chem, Inc., a specialty refrigerant processor with experience in the conversion of halogenated compounds into a glass matrix using vitrification. The process has not been applied to CFCs but has been applied to carbon tetrachloride achieving 99.9999% destruction. Vitrification has also been used by the United States Department of Energy to fix radioactive materials and heavy metals. An operating cost of about $3.80/kg is reported and capital cost, depending on the size of the facility, is reported in the range of $1.5 to $3.5 million. Although the by-products of this process are incorporated in the glass frit, which is then sold, the process was not considered to be a chemical conversion process that results in a directly marketable chemical product. However, it is significant that the profits of the sale of the glass frit can be used to offset the costs of destruction, and that the process avoids the costs of dealing with the disposal of by-products such as halide salts. These factors may result in significantly lower overall disposal costs, in comparison to some other technologies where the estimated costs of dealing with the disposal of by-products have not been factored in.

This process fixes the products of ODS dissociation and hydrolysis into chemically durable glass frit which is capable of being processed into glass product. The first stage involves destruction of organics at high temperature, typically with a plasma arc. Once the halogens are separated from the carbon and hydrolyzed in the off-gas treatment system, the glass manufacturing process begins. Naturally, the gas cleaning system would have to include rapid cooling to prevent significant formation of dioxins and furans. A specially formulated mixture of calcium oxide and silica oxide along with other proprietary chemicals is added to the smelter to begin the formation of glass. The additives ensure that the glass frit product can be returned to commerce for additional processing into higher quality glass product.

B-3 Incineration Technologies

The only technologies recommended in the 1992 UNEP report for the destruction of ODS were thermal oxidation (incineration) processes. Incineration is the use of controlled flame combustion to destroy ODS in an engineered device. Several specific processes were recommended; however, not all may be appropriate for all classes of ODS. The technologies are described separately in the following text, but there are a number of characteristics common to all incineration processes.

The significance of the production of greenhouse gases (GHGs) from incineration technologies is important to note. This has become a major scientific and political concern in many countries, and as a result there is significant incentive for the consideration of non-incineration technologies for the disposal of ODS. However, incineration technologies do have the general advantage of being fully developed commercially and conveniently located geographically, and thus are given due consideration in terms of finding realistic and timely solutions to the disposal of ODS surplus. All of these factors have been taken into account in the ranking of commercially available ODS disposal technologies.

Thermal oxidation processes generally operate at temperatures of 900° C or higher, i.e., temperatures at which organic compounds are destroyed. Destruction efficiencies of 99.99% are readily achieved in well-designed units that are operated properly. High performance incinerators designed specifically to destroy stable organic compounds, such as PCBs and ODS, operate at significantly higher temperatures, generally at 2100° C or higher. Such high performance incinerators generally achieve 99.9999% destruction. Halogen-containing ODS have a low heat value; therefore, the required high operating temperatures can only be achieved by use of a supplementary fuel such as natural gas, fuel oil, or propane.

The primary products from the thermal destruction of ODS are carbon dioxide (CO_2), water (H_2O), and hydrochloric and hydrofluoric acids (HCl and HF). Hydrogen bromide (HBr) and/or bromine (Br_2) are produced in the case of the destruction of halons. Products of incomplete combustion (PICs) such as carbon monoxide, hydrocarbons, organic acids, and partially degraded products may also be produced, but these PICs are emitted in only small amounts from well-designed incineration facilities that provide high temperatures, adequate residence times (1–2 seconds), excess oxygen and good mixing.

A more serious problem is the potential production of toxic polychlorinated dibenzo*para*dioxins (PCDDs) and polychlorinated dibenzofurans (PCDFs) in trace quantities. PCDD/PCDF formation can be minimized in well-designed incinerators. Since these compounds generally form at temperatures of 500–900° C, their formation is unavoidable as the hot flue gases from incinerators are cooled in the associated gas cleaning system. It has also been reported that the incineration of halons increases the potential for dioxin formation. This is believed to be due to the free radical scavenging effect of bromine. However, inclusion of a quench cooling operation to rapidly cool the gas to a temperature well below the dioxin/furan formation temperature range usually limits formation of these toxic by-products to acceptable levels. It should be noted that the formation and control of dioxins and furans is independent of the type of incinerator.

Another serious technical problem is the production of the aforementioned acid gases, which must be removed by inclusion of a gas scrubbing system. This generally involves the use of electrostatic precipitators, baghouses, Venturi scrubbers, packed bed scrubbers, or plate scrubbers. The formation of bromine compounds in the case of halon incineration is particularly troublesome. In general, this substance is particularly difficult to remove; however, several approaches can be taken to minimize the formation of Br_2, including the introduction of sulphur-containing compounds and the minimization of the cooling period.

The formation of halide acids also presents some technical difficulties. An HF-resistant refractory lining and binder must be used in the combustion chambers through the quench area. Corrosion resistant fiberglass-reinforced plastic (FRP) is generally required in the scrubbing systems and the presence of fluoride requires special lining of the FRP to avoid attack of the glass fibers. Finally, the acid gases also require upgrading of the bag material in the baghouse. Incineration facilities typically are not fitted with such equipment; however, retrofitting of existing facilities is possible. Cost factors would naturally have to be taken into consideration before performing such a retrofit, and it is not yet clear whether a sufficient market for ODS surplus will become available to warrant this investment in Canadian and U.S. facilities (Jan Sterman, personal communication, Material Resource Recovery, Cornwall, Ontario, 1999).

The only incineration facility in Canada currently permitted to dispose of ODS is the Swan Hills Treatment Centre in Swan Hills, Alberta, although at this time there are technical issues that severely limit capacity (see following discussion of rotary kilns). A number of the various types of incineration technologies are available in the United States and have been in operation for many years for the destruction of hazardous waste materials, including ODS. Operating costs for the incineration of ODS are expected to be in the medium-to-high range compared with most technologies. Precise cost estimates vary considerably depending on the type of ODS, quantities to be destroyed, and market conditions. Low-pressure ODS such as CFC-11 and CFC-113, which are usually mixed with other solvents, are less expensive to incinerate than high-pressure ODS such as CFC-12 and CFC-22. Halons are in the high-pressure category and also have additional issues because of their bromine content. There are indications that hazardous waste incinerators in the United States may be currently running low on supply; prices may therefore fall in the future. Based on information available in the current literature and on communication with several personnel from incineration facilities, an approximate value of $5/kg of

ODS destroyed has been selected as a default value for incineration technologies for which no other specific cost information could be obtained.

B-3.1 High Performance. The Swan Hills Treatment Centre (SHTC) at Swan Hills, Alberta, is a state-of-the-art high performance incineration facility where the company operates one rotary kiln. The kiln includes a rapid cooling step and is thus more amenable to modifications that would allow it to be used for ODS destruction. The operating temperature of the secondary combustion chamber is maintained at 1200° C, higher than the 1100°C typical for conventional incinerators. The unit has been specifically designed to ensure adequate residence time (>2 seconds) at >1100° C in sufficiently turbulent conditions to ensure destruction of PCB to a destruction removal efficiency (DRE) of 99.9999%. Furthermore, the SHTC submits its unit to a three-day compliance test every 6–16 months during which the incinerator is loaded with PCB material, and these compliance tests have consistently demonstrated higher than the 99.9999% DRE required by the approval. The incinerator proposed for ODS destruction is expected to achieve 99.9999% destruction because the autodecomposition temperatures of CFCs are comparable to PCBs. Nevertheless, the SHTC would propose to run a compliance test before processing ODS material.

Under Alberta regulations, the SHTC may destroy ODS; in fact this is the only facility currently permitted to destroy ODS in Canada. The SHTC has indicated an interest in pursuing the necessary modifications to its facility to handle significant quantities of ODS should an appropriate market for ODS surplus disposal materialize in Canada. The SHTC indicates it would take about six months to implement the necessary modifications.

B-3.2 Liquid Injection. The only liquid injection hazardous waste incinerator in Canada is operated by Safety Kleen in Sarnia, Ontario, but it is not presently capable of nor permitted to destroy halogenated wastes.

Liquid injection incinerators are usually single-chamber units with one or more waste burners into which the liquid waste is injected, atomized into fine droplets, and burned in suspension. Problems of flame stability may result when large volumes (>40%) of CFCs or other ODS are injected into the burner. These incinerators are able to handle a wide range of liquid or vapour wastes, have high turndown ratios and have no moving parts. Liquid injection incinerators are limited to treating wastes that can be atomized through the burner and are therefore susceptible to plugging; however, the incineration of ODS is not likely to be limited by these constraints to a significant degree.

B-3.3 Reactor Cracking. Reactor cracking is a proprietary process developed by Hoechst AG (Frankfurt, Germany). A European patent (EP 0 212 410 B1) was issued in 1986. Solvay acquired Hoechst's fluorocarbon business in 1996, and now operates the cracking destruction facility, which is located near Frankfurt. Solvay works in collaboration with Westab, a company that collects and transports waste CFCs. The process has operated since 1983 to treat waste gases from the production of CFCs and, more recently, waste CFCs. Solvay has legal permission to destroy 9700 tonnes of CFC per year. Principal advantages of the process are its use of an oxygen-hydrogen flame which limits formation of NO_x, its very high operating temperature, and rapid cooling (which prevents the formation of PCDD/PCDF), and the recovery of hydrofluoric and hydrochloric acids. The process is limited to gaseous feeds although commercial destruction of CFCs could involve the inclusion of a vaporization step in the facility. Solvay indicates a cost of about $3.75/kg for destruction at its Frankfurt facility. Solvay is also prepared to offer its technology under license for construction of a facility in Canada. Solvay estimates a 1600 t/yr CFC cracking unit would cost about $3 million excluding the licence fee and engineering.

The reactor cracking process uses a cylindrical, water-cooled reactor made of graphite, and an oxygen-hydrogen burner system. The reactor is flanged directly to an absorber. Waste gases typically consisting of CFCs, HCFCs, and HFCs are fed into the reaction chamber where the temperature is maintained between 2000–2600° C. The gases are broken down to HF, H_2O, HCl, CO_2, and Cl_2. The cracked products are cooled in the absorber and the acid gases are purified and recovered as 55% HF and 33% HCl, both of technical grade quality. Cracking efficiency exceeds 99.999%. The resulting waste gas essentially only consists of CO_2, O_2, and water vapour and meets the requirements of the German Clean Air regulations (TA-Luft). The process is fueled with 35–40 kg of hydrogen per tonne of CFC and consumes 300 kWh of electrical energy per tonne of CFC.

B-3.4 Gaseous/Fume. The gaseous/fume process uses refractory-lined combustion chambers for the thermal destruction of waste vapour streams, most often VOCs. The fume stream is heated using an auxiliary fuel such as natural gas or fuel oil. A combustion temperature near 1100° C is required for most ODS compounds. Gaseous residence times in fume incinerators are about 1–2 seconds. Some fume incinerators are equipped with heat exchangers in the flue gas outlet to pre-heat the combustion air and/or the waste fume. These recuperative incinerators are capable of recovering up to 70% of the energy in the flue gas.

Fume incinerators are designed for continuous operation and are a simple, proven technology and, as noted previously, can include energy recovery. Some of the ODS (e.g., CFC-12, CFC-114, or CFC-115) are gases at ambient temperature and can be destroyed by feeding directly from their pressurized storage into the incinerator. Fume incinerators are almost always privately operated and are typically found in manufacturing plants. These incinerators are seldom used at commercial hazardous waste incineration facilities because of the impracticality of transporting low density fumes and gases.

B-3.5 Rotary Kiln. Rotary kiln incinerators are refractory-lined rotating cylindrical steel shells mounted on a slight incline from horizontal. Capable of handling both liquid and solid wastes, the rotation of the shell enhances mixing and the inclination causes ash or molten slag to fall out. Most rotary kilns are equipped with an afterburner which ensures complete destruction of exhaust gases. Liquid materials such as CFCs, halons and other ODS can be fed into the rotary kiln or directly into the afterburner.

Rotary kilns have been used to destroy all forms of hazardous waste (gas, liquid, solids, including sludge). Because of this flexibility, rotary kilns are most frequently incorporated into the design of commercial incinerator facilities. The principal advantage of the rotary kiln is its ability to handle a wide variety of liquid and solid wastes. However, these kilns are very expensive to build and maintenance costs are high. Also, because of the production of acid by-products, there are generally severe restrictions on the amount of ODS in the raw material feed to the kiln.

B-3.6 Cement Kilns. Existing cement kilns, when properly operated, can destroy most organic compounds including PCBs because the temperature in the burning zone is over 1500° C and residence times are up to 10 seconds. Tests have demonstrated CFC destruction efficiencies of greater than 99.99%. In general, most cement kilns could tolerate the controlled addition of ODS, but this would have to be evaluated on a case-by-case basis. Fluorine can be beneficial to the cement-making process because it allows the cement-producing reactions to occur at a lower temperature, thus offering the opportunity for reduced fuel consumption. However, higher levels of fluorine have negative effects on cement quality. As a broad generalization, the maximum fluorine content is about 0.25% of the raw material feed. Chlorine is generally regarded as an unwanted constituent because it creates operating

problems and the newer pre-heater/pre-calciner kilns are expected to have the lowest tolerance for chlorine. The theoretical limit for chlorine is about 0.015% of the raw material feed but the practical tolerance is believed to be much higher.

The major advantage of using cement kilns is that there are large existing capacities in Canada and the United States. The disadvantage is that fluorine and chlorine input rates need to be carefully controlled. Furthermore, cement kilns are not currently set up to handle or burn CFCs and halon wastes. Necessary modifications would require equipment for monitoring hazardous emissions. Operation costs per unit of ODS destroyed are estimated to be less than those for most incineration technologies, i.e., about $4/kg as opposed to about $5/kg.

A Canadian stakeholder has entered into discussions with an overseas firm that has access to a cement kiln for which addition of appreciable quantities of chloride is beneficial due to the nature of the kiln raw material. Comprehensive testing has reportedly demonstrated that there are no adverse environmental impacts from substitution of up to 500–1000 t/yr of CFCs in place of addition of chlorine. Due to the limited availability of CFCs locally there may be an opportunity to export CFCs from Canada to this facility for destruction.

B-3.7 Internally Circulating Fluidized Bed (ICFB). Internally circulating fluidized bed incinerators can be fired with any solid, liquid, or gas fuel. CFCs and air are blown through the incinerator fluidized bed, and CFCs are broken down by the presence of methane and hydrogen in the reducing atmosphere of the incinerator. Calcium carbonate is also fed into the incinerator to adsorb the corrosive HCl and HF gases formed by the breakdown of the CFCs, although one expert indicated he was unable to substantiate this claim.

In 1995, a joint effort by Japan's National Institute of Materials & Chemicals Research (NIMCR) and the incinerator supplier Ebara Corp. of Tokyo demonstrated CFC destruction in an internally circulating fluidized bed (ICFB) incinerator. The incinerator was modified by attachment of a special nozzle at the bottom of the incinerator to blow CFCs and air through the fluidized bed. Tests using a 30 t/day incinerator at Ebara's Fujisawa factory have shown that burning with wood chips can destroy more than 99.9998% of CFCs.

The main attraction of this approach is its relative simplicity and the large number of wood chip burners in Canada, although it is not necessary to burn wood chips in ICFB incinerators. However, an ABB fluid bed incinerator is known to have been operating on a BC pulp mill since 1997. Nevertheless, such installations would need to install gas cleaning systems incorporating quench cooling.

The printing processes used in producing this document conform to environmental performance standards established by the Government of Canada under Canada's *National Guidelines on Lithographic Printing Services*. These standards aim to ensure the environmental integrity of printing processes through reductions in toxic emissions to the environment, reductions in loading of wastewater, reductions in the quantity of materials sent to landfills, and the implementation of resource conservation procedures.

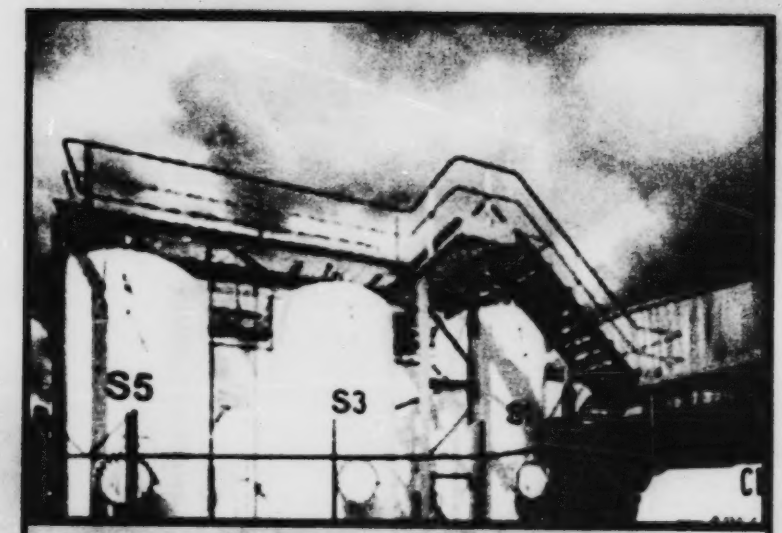
The paper used in the interior of this document conforms to Canada's *National Printing and Writing Paper Guideline* and/or *Uncoated Mechanical Printing Paper Guideline*. These guidelines set environmental performance standards for fibre-use efficiency, chemical oxygen demand, energy use, global warming potential, acidification potential, and solid waste.

The printing processes and the paper used in the interior of this document are fully certified under Canada's sole ecolabelling program – the **Environmental Choice™ Program** (ECP). The Program's official symbol of certification – the **EcoLogo™** – features three stylized doves intertwined to form a maple leaf, representing consumers, industry and government working together to improve Canada's environment.

For more information about the **Environmental Choice™ Program**, please visit the ECP website at **www.environmentalchoice.com** or telephone (613) 247-1900.

Environment Canada's Technology Outreach Section is proud to support environmental and quality performance standards, and the use of **Environmental Choice™** certified papers and environmentally responsible products and printing processes, throughout its development and distribution of information products. To obtain a copy of the catalogue *Environment Canada: Selected Publications and Websites*, please contact us toll-free at 1 800 734-3232, or (819) 953-5750; by facsimile at (819) 994-5629; or by e-mail at **epspubs@ec.gc.ca**. For additional information on Environment Canada, visit the departmental website at **www.ec.gc.ca**.

SPE 1/RA/4 - Mars 2001
Division des procédés et technologies propres
Direction générale pour l'avancement des technologies environnementales
Environnement Canada



Série de la Protection de l'environnement

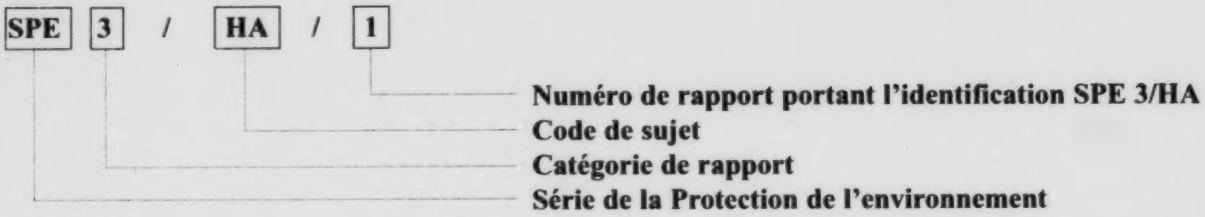
Guide sur les techniques d'élimination des substances qui appauvrissent la couche d'ozone (SACO) au Canada

Environnement Canada Environment Canada

Canada

SÉRIE DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Exemple de numérotation :



Catégories

1	Règlement/Lignes directrices/ Codes de pratiques
2	Évaluation des problèmes et options de contrôle
3	Recherche et développement technologique
4	Revues de la documentation
5	Inventaires, examens et enquêtes
6	Évaluations des impacts sociaux, économiques et environnementaux
7	Surveillance
8	Propositions, analyses et énoncés de principes généraux
9	Guides

Sujets

AG	Agriculture
AN	Technologie anaérobie
AP	Pollution atmosphérique
AT	Toxicité aquatique
CC	Produits chimiques commerciaux
CE	Consommateurs et environnement
CI	Industries chimiques
FA	Activités fédérales
FP	Traitement des aliments
HA	Déchets dangereux
IC	Produits chimiques inorganiques
MA	Pollution marine
MM	Exploitation minière et traitement des minéraux
NR	Régions nordiques et rurales
PF	Papier et fibres
PG	Production d'électricité
PN	Pétrole et gaz naturel
RA	Réfrigération et conditionnement d'air
RM	Méthodes de référence
SF	Traitement des surfaces
SP	Déversements de pétrole et de produits chimiques
SRM	Méthodes de référence normalisées
TS	Transports
TX	Textiles
UP	Pollution urbaine
WP	Protection et préservation du bois

Des sujets et des codes supplémentaires sont ajoutés au besoin. On peut obtenir une liste des publications de la SPE en s'adressant aux Publications de la Protection de l'environnement, Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada, Ottawa (Ontario) K1A 0H3.

Guide sur les techniques d'élimination des substances qui appauvrissent la couche d'ozone (SACO) au Canada

Division des procédés et technologies propres
Direction générale pour l'avancement des technologies environnementales
Environnement Canada
Hull (Québec)

Rapport SPE 1/RA/4
Mars 2001

Données de catalogage avant publication de la Bibliothèque Nationale du Canada

Vedette principale au titre :

Guide sur les techniques d'élimination des substances qui appauvrissent la couche d'ozone (SACO) au Canada.

(Rapport; SPE 1/RA/4)
Publ. également en anglais sous le titre : Guidance document on disposal technologies for ozone-depleting substances (ODS) in Canada.
Comprend des références bibliographiques.
ISBN 0-660-96539-9
No de cat. En49-24/1-51F

1. Substances qui appauvrissent la couche d'ozone – Gestion – Canada – Guides, manuels, etc.
2. Chlorofluorocarbones – Gestion – Canada – Guides, manuels, etc.
3. Hydrocarbures halogénés – Gestion – Canada – Guides, manuels, etc.
4. Couche d'ozone – Réduction – Politique gouvernementale – Canada.
5. Déchets dangereux – Gestion – Canada – Guides, manuels, etc.

I. Canada. Environnement Canada.
II. Canada. Division des procédés et technologies propres.
III. Coll. : Rapport (Canada. Environnement Canada); SPE 1/RA/4.

TD887.O95G84 2001 363.73'8'75 C2001-980152-1

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada (Environnement Canada) 2001

Commentaires des lecteurs

Les commentaires concernant le contenu de ce document doivent être adressés à:

Adrian Steenkamer Jr.
Division des procédés et technologies propres
Direction du transfert technologique
Direction générale pour l'avancement des technologies environnementales
Environnement Canada
351, boul. Saint-Joseph
Place Vincent-Massey
Hull (Québec)
K1A 0H3

This report is also available in English from:

Environmental Protection Publications
Environment Canada
Ottawa, Ontario
K1A 0H3

Avis de révision

Le présent rapport a été révisé par le personnel de la Direction du transfert technologique d'Environnement Canada et sa publication a été autorisée. La mention d'appellations commerciales ou de produits offerts sur le marché ne constitue ni une recommandation ni une approbation de l'emploi de ces produits par Environnement Canada.

Résumé

Le Groupe de travail fédéral-provincial sur les substances appauvrissant la couche d'ozone et leurs halocarbures de remplacement a élaboré une stratégie visant à accélérer l'abandon graduel de l'emploi des chlorofluorocarbures (CFC) et des halons, par suite des restrictions promulguées dans le *Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone* (1987).

De 1994 à 1996, on a interdit au Canada la production et l'importation de CFC et de halons, en application du *Règlement sur les substances appauvrissant la couche d'ozone*.

Les restrictions réglementaires, l'emploi de substances de remplacement aux et les projets d'interdiction du remplissage à neuf ont entraîné l'accumulation de quantités excédentaires de substances qui appauvrissent la couche d'ozone au Canada, nécessitant la recherche de technologies d'élimination.

Le présent guide répond à la nécessité de fournir aux intéressés des normes ou des lignes directrices recommandées de rendement acceptable pour la destruction des substances qui appauvrissent la couche d'ozone.

Abstract

The Federal-Provincial Working Group on Ozone-Depleting Substances and Their Halocarbon Alternatives has developed a strategy to accelerate phasing out the use of chlorofluorocarbons (CFCs) and halons in response to restrictions promulgated by the 1987 *Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer*.

The production and importation of CFCs and halons were banned in Canada in 1994–96 under the *Ozone-depleting Substances Regulations*.

The accumulation of surplus quantities of ODS in Canada has been accelerated by regulatory restrictions, use of alternatives to CFCs and halons, and proposed refill bans, necessitating the identification of technologies for their disposal.

This guidance document addresses the need to provide stakeholders with recommended acceptable performance standards, and/or guidelines for the destruction of ODS.

Table des matières

Résumé v
Abstract vi
Liste des tableaux viii
Sommaire ix
Définitions et abréviations x
Remerciements xii

Section 1
1 Contexte 1
1.1 Le Protocole de Montréal et les substances qui appauvrissent la couche d'ozone 1
1.2 Réglementation des substances qui appauvrissent la couche d'ozone au Canada 2
1.3 Examens antérieurs des technologies d'élimination des substances qui appauvrissent la couche d'ozone 2
1.4 Le plan d'action national pour les substances qui appauvrissent la couche d'ozone 3
1.5 Objectifs et portée 3

Section 2
2 Revue des technologies d'élimination des substances qui appauvrissent la couche d'ozone 5
2.1 Survol 5
2.2 Présélection des technologies d'élimination des substances qui appauvrissent la couche d'ozone 6
2.3 Évaluation environnementale et technique 8
2.4 Évaluation commerciale et économique 9

Section 3
3 Stockage, transport et réglementation 13
3.1 Survol et règlements applicables 13
3.2 Entreposage, manutention et transport 15
3.2.1 Survol 15
3.2.2 Récipients 16
3.2.3 Exigences relatives à la documentation, à l'étiquetage, à la manutention et à la formation du personnel 18

Section 4
4 Recommandations 19

Références 20

Annexe A. Membres du Groupe de travail sur les déchets dangereux 22

Annexe B. Description des technologies d'élimination des substances appauvrissant la couche d'ozone qui sont offertes sur le marché 23

Liste des tableaux

1 Données techniques pour l'évaluation des technologies d'élimination des substances qui appauvrissent la couche d'ozone 10

2 Classement environnemental et technique des technologies d'élimination des substances qui appauvrissent la couche d'ozone 11

3 Classement commercial et économique des technologies d'élimination des substances qui appauvrissent la couche d'ozone 11

4 Règlements et documents pertinents à la manutention des substances excédentaires qui appauvrissent la couche d'ozone 17

Sommaire

L'objectif du présent document d'orientation est de fournir des indications claires aux Canadiens intéressés en ce qui concerne les mécanismes, les techniques, les normes de rendement et les modes opératoires les plus récents pour assurer la destruction sécuritaire et efficace, la transformation ou la stabilisation permanente, ou les deux, des stocks de substances qui appauvrissent la couche d'ozone (SACO).

Seize techniques d'élimination sont présentées suivant leur conformité à des critères environnementaux et leur accessibilité commerciale.

L'évaluation environnementale et technique vise à orienter le choix vers les meilleures solutions technologiques pour l'élimination des SACO, c'est-à-dire celles qui évitent les effets défavorables causés à l'environnement ou à la santé humaine, ou aux deux. Ces questions englobent la prévention du rejet ultime de SACO et la destruction de la couche d'ozone, la prévention des rejets de gaz qui contribuent aussi au réchauffement planétaire et au changement climatique, ainsi que la prévention de la production et du rejet de sous-produits de la destruction des SACO pouvant eux-mêmes être nocifs pour la santé ou l'environnement.

L'évaluation commerciale et économique aborde différentes questions et vise à donner quelques indications sur l'accessibilité actuelle et future des technologies et des installations d'élimination des surplus prévus de SACO au Canada; elle évalue également les éventuels coûts de destruction imputés aux diverses technologies retenues. Cependant, l'analyse détaillée et précise des coûts associés à chaque technologie dépasse la portée du présent document.

Outre l'évaluation et l'identification des technologies d'élimination des SACO, le document renferme des renseignements sur la manutention des quantités excédentaires de SACO, incluant les règlements en vigueur relativement au transport, au stockage et aux mentions obligatoires.

Définitions et abréviations

Définitions

bromure de méthyle (MéBr), composé chimique de brome, d'hydrogène et de carbone, utilisé comme pesticide et également utilisé comme fumigant.

CCME, Conseil canadien des ministres de l'environnement. Chaque province et territoire ainsi que le gouvernement fédéral sont représentés à des réunions par leur ministre de l'environnement respectif.

chlorofluorocarbure (CFC), composé stable de chlore, de fluor et de carbone.

contenant jetable, contenant désigné pour être utilisé une seule fois pour le transport ou le stockage des CFC ou des HCFC; sa conception est conforme à la spécification 39 de Transports Canada (DOT 39, s'il est fabriqué aux États-Unis).

élimination, opération visant à se débarrasser d'une substance qui ne sera plus utilisée conformément à son but premier de fabrication. L'opération peut inclure la transformation, la destruction ou l'élimination en tant que déchet dangereux, si elle est mélangée à d'autres substances.

gaz à effet de serre, gaz qui, tels le monoxyde de carbone et divers hydrocarbures, contribueraient au réchauffement planétaire et au changement climatique.

GTFP, Groupe de travail fédéral-provincial sur les substances appauvrissant la couche d'ozone et leurs halocarbures de remplacement (autrefois connu sous le nom de Groupe de travail fédéral-provincial chargé de l'harmonisation des mesures de contrôle – SACO).

halocarbure, composé de carbone pouvant comporter dans sa structure des atomes d'hydrogène, de fluor, de chlore, de brome ou d'iode.

halon, composé de brome, de fluor, de carbone et parfois de chlore.

hydrobromofluorocarbure (HBFC), composé contenant uniquement des atomes d'hydrogène, de brome, de fluor et de carbone dans sa structure.

hydrocarbure perfluoré, composé chimique comportant seulement du fluor et du carbone. Les hydrocarbures perfluorés ne sont pas des substances qui détruisent la couche d'ozone. Cependant, leur pouvoir de réchauffement planétaire est élevé.

hydrochlorofluorocarbone (HCFC), composé comportant des atomes d'hydrogène, de chlore, de fluor et de carbone.

hydrofluorocarbone (HFC), composé chimique comportant seulement des atomes d'hydrogène, de fluor et de carbone. Dépourvus de chlore, ces composés sont inoffensifs face à la destruction de l'ozone.

incinération, voir thermooxydation

offert sur le marché, une technologie qui est commercialement viable, offerte à l'échelle industrielle, d'une capacité qui n'est sensiblement limitée par aucun facteur ou combinaison de facteurs.

potentiel de destruction de l'ozone (PDO), effet assigné d'un composé sur la couche d'ozone, relativement au CFC-11, auquel le potentiel de 1,0 est attribué.

potentiel de réchauffement planétaire (PRP), mesure relative — habituellement par rapport à celui du dioxyde de carbone (CO_2) — de l'effet de réchauffement que l'émission d'un gaz radiatif pourrait avoir sur la troposphère, près de la surface.

Protocole de Montréal, accord international (officiellement le *Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone*) fixant les dates de réduction et d'élimination progressive de la consommation des substances qui appauvrissent la couche d'ozone. Il a été élaboré sous les auspices du programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), afin d'offrir une réponse coordonnée au problème mondial de la destruction de l'ozone stratosphérique. Plus de 175 pays ont signé ce protocole.

récipient réutilisable, récipient satisfaisant aux exigences de Transports Canada et approuvé pour des utilisations multiples.

récupération, collecte des SACO, telles que les CFC ou les HCFC, se trouvant dans l'équipement au cours de l'entretien ou avant l'élimination (par opposition à leur évacuation dans l'atmosphère).

recyclage, réutilisation des SACO récupérées en les remettant dans l'équipement après entretien.

régénération, suite d'opérations par lesquelles les frigorigènes récupérés sont expédiés dans un centre de traitement et purifiés par filtration, séchage, distillation et traitement chimique, afin de rencontrer ou dépasser les normes de réutilisation acceptées dans l'industrie.

substance appauvrissant la couche d'ozone (SACO), substance chimique suffisamment stable pour atteindre la stratosphère et ensuite se décomposer par réaction avec l'ozone.

technologies des plasmas, technologies utilisant une « flamme » ou une « torche » au plasma pour briser les liens chimiques. Le plasma est un mélange d'électrons, d'ions et de particules neutres existants à des températures comprises entre 5 000 et 20 000 kelvins. Ce gaz conducteur, ionisé, de haute température est créé avec un arc électrique dans un champ magnétique.

technologies sans incinération, technologies détruisant les SACO sans utiliser la thermooxydation (par exemple, réaction chimique, photolyse UV) ou utilisant des procédés détruisant les liens chimiques des SACO dans un atmosphère sans oxygène.

thermooxydation (incinération), processus convertissant, idéalement, les composés organiques, qu'ils soient hydrocarbures ou composés oxygénés, en CO_2 et H_2O. Il y a deux types principaux d'incinérateurs: thermique et catalytique. Lors de l'incinération thermique, les composés organiques sont chauffés à des températures très élevées afin d'oxyder les composés organiques dans la phase gazeuse. Un incinérateur thermique brûle les composés à des températures habituellement dans l'étendue comprise entre 750 et 1 000 °C.

Lors de l'incinération catalytique, la surface d'un catalyseur (i.e. une interface solide-gaz) facilite la réaction d'oxydation en permettant, à des températures plus faibles, une série de réactions alternatives dont la vitesse est plus grande que celle de la réaction équivalente en phase gazeuse. Un incinérateur catalytique fonctionne à des températures variant entre 350 et 500 °C.

Abréviations

CCME	Conseil canadien des ministres de l'environnement
CFC	chlorofluorocarbure
CFC-11	trichlorofluorométhane
CFC-12	dichlorodifluorométhane
CFC-115	chloropentafluoroéthane
EqT	équivalence toxique
GES	gaz à effet de serre
GTFP	Groupe de travail fédéral-provincial sur les substances appauvrissant la couche d'ozone et leurs halocarbures de remplacement
Halon 1211	bromochlorodifluorométhane
Halon 1301	bromotrifluorométhane
HBFC	hydrobromofluorocarbure
HCFC	hydrochlorofluorocarbone
HCFC-22	chlorodifluorométhane
HFC	hydrofluorocarbone
ICCCR	Institut canadien du chauffage, de la climatisation et de la réfrigération
LFCI	lit fluidisé à circulation interne
NO_x	oxydes d'azote
PAN	plan d'action national
PCDD	polychlorodibenzo-*p*-dioxines
PCDF	polychlorodibenzofurannes
PDO	potentiel de destruction de l'ozone
PNUE	Programme des Nations unies pour l'environnement
PRFI	plasma radiofréquence inductif
PRP	potentiel de réchauffement planétaire
RTMD	*Règlement sur le transport des marchandises dangereuses*
R-502	mélange frigorigène azéotrope d'HCFC-22 et de CFC-115
SACO	substance appauvrissant la couche d'ozone
SPC	Standard pancanadien

Remerciements

Environnement Canada désire exprimer sa reconnaissance à Jacob Shapiro, Alain Carrière et Dan Nolan *et al.*, de Cantox Environmental Inc., pour leur travail de préparation d'un rapport sur les technologies d'élimination des substances qui appauvrissent la couche d'ozone. Ce rapport a précipité l'éclosion du présent document d'orientation et d'autres activités en cours reliées à la destruction des substances qui appauvrissent la couche d'ozone, par Environnement Canada.

Contexte

1.1 Le Protocole de Montréal et les substances qui appauvrissent la couche d'ozone

À l'origine (1987), le *Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone* (connu sous le nom de *Protocole de Montréal*) a été signé par 24 pays, dont le Canada, en septembre 1987. En juillet 2000, il a été ratifié par 175 pays. Le *Protocole de Montréal* est l'aboutissement d'une série de mesures contraignantes visant à maîtriser ou à faire cesser la production et la consommation de substances appauvrissant la couche d'ozone (SACO) dans divers pays. Le *Protocole* est un traité évolutif : des dispositions autorisent des modifications en tenant compte des nouvelles données scientifiques et des avancées technologiques (PNUE, 1997).

La destruction de la couche d'ozone stratosphérique réduit la capacité de protection de l'atmosphère contre les rayonnements UV du soleil. Cela peut avoir de graves conséquences pour la santé, notamment le risque accru de cancer, la cataracte et l'affaiblissement du système immunitaire. L'intensification du rayonnement UV, reliée à la destruction de la couche d'ozone, a également été associée à des effets environnementaux nocifs, tels que la baisse de la production de certains végétaux terrestres et du plancton des océans.

Le *Protocole de Montréal* est généralement considéré comme l'un des accords internationaux les plus importants en matière d'environnement et un des plus efficaces jamais signés. Depuis 1994, la quantité totale d'organochlorés dans la troposphère commence à diminuer lentement, surtout en raison de la baisse des concentrations de méthylchloroforme. Les émissions de la plupart des SACO ont sensiblement diminué comparativement aux maximums obtenus à la fin des années 1980. En dépit de ce progrès, les concentrations atmosphériques de certaines SACO, à savoir le Halon-1211, continuent d'augmenter. Les rejets continuels contribuent aux concentrations atmosphériques actuelles, qui présentent une persistance notable dans l'environnement. Dès que les concentrations de méthylchloroforme se seront stabilisées au cours des 10 à 15 prochaines années, le rythme de la diminution des SACO présentes dans l'atmosphère diminuera probablement.

Les mesures de lutte mises en place après le *Protocole de Montréal* ont entraîné un excédent croissant de CFC et de halons utilisés et inutilisés, désormais remplacés par des substances plus écologiques. Les excédents sont constitués de SACO inutilisées, de SACO utilisées dans le vieil équipement et de SACO recyclées, régénérées ou stockées après le retrait de cet équipement. Les quantités excédentaires devraient continuer de croître, suite aux initiatives de gestion reliées au *Protocole de Montréal*.

Au Canada, à l'exception des sources mobiles de climatisation, les usages actuels de SACO sont capables, d'après les quantités stockées, de se poursuivre de nombreuses années. Le *statu quo* aidant, les rejets de ces substances dans l'environnement par les usages actuels devraient, dans plusieurs secteurs, se poursuivre au cours des dix à vingt prochaines années. Il est généralement prévu que tous les stocks actuels de SACO finiront par être émis dans l'atmosphère, sauf si un programme de gestion, assorti de techniques de destruction, est mis de l'avant (Environnement Canada, 1998).

Les considérations précédentes mettent en évidence l'importance des avancées dans les méthodes de réduction ou d'élimination des émissions supplémentaires de SACO. Pendant que les restrictions entraînées par le *Protocole*

de Montréal pour la production, l'importation et la consommation des SACO sont des étapes nécessaires à la gestion de ces substances actuellement utilisées ou entreposées, les pouvoirs publics mondiaux font face à un défi de taille reposant sur une méthode d'élimination des surplus grandissants de SACO, afin de contrer de futures emissions atmosphériques. À cette fin, une évaluation des technologies d'élimination des SACO existantes et émergentes (Cantox Environmental Inc., 2000) a été effectuée. Dans ce contexte, il est pertinent de noter que deux décisions ont été prises, dernièrement, en application du *Protocole de Montréal* pour exiger que les parties signataires mettent au point des stratégies de gestion prévoyant de s'attaquer aux problèmes d'élimination des CFC et des halons (décisions XI/16 et X/7, respectivement).

1.2 Réglementation des substances qui appauvrissent la couche d'ozone au Canada

La production et l'importation de chlorofluorocarbures (CFC) et de halons ont été interdites au Canada de 1994 à 1996 en application des *Règlement sur les substances appauvrissant la couche d'ozone* (*Gazette du Canada*, 1995). L'objectif de ces restrictions est d'atténuer la menace posée par les SACO et de permettre un retour aux concentrations antérieures d'ozone stratosphérique [1]. À compter de 1999, l'importation de CFC et de halons recyclés et récupérés a également été interdite au Canada. Les hydrochlorofluorocarbones (HCFC), qui remplacent les CFC et qui possèdent un potentiel de destruction de l'ozone inférieur aux CFC, sont également contrôlés. Les règlements en vigueur au Canada limitent et contrôlent déjà la production, l'importation et l'exportation des HCFC et ils prescrivent leur élimination progressive complète d'ici 2030. De plus, des provinces ont mis de l'avant des programmes obligatoires de récupération, de recyclage et de formation.

En 1998, le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) a mandaté le Groupe de travail fédéral-provincial sur les substances appauvrissant la couche d'ozone et leurs halocarbures de remplacement d'évaluer la probabilité d'éliminer progressivement les utilisations des CFC et des halons. Ceci a résulté en l'élaboration de la Stratégie canadienne pour accélérer l'élimination progressive des utilisations de CFC et de halons et pour éliminer les stocks excédentaires (CCME PN1317, mai 2001). La stratégie propose l'interdiction du remplissage à neuf de tout équipement renfermant des CFC et des halons à l'exception des articles ménagers. Cette interdiction concernant le remplissage à neuf entre en vigueur au cours des années 2001 et 2005 et elle représente un pas considérable vers la suppression des emplois des CFC et des halons au Canada.

L'objectif de la stratégie, combinée aux restrictions réglementaires déjà en vigueur et à la tendance générale vers l'emploi de solutions de rechange aux CFC et aux halons, est d'accélérer l'accumulation des excédents de SACO au Canada. Les stocks de CFC et de halons au Canada, en 1998 (à l'exception des quantités imputées à l'équipement en service et des quantités accumulées), sont estimés à 23 000 et 3 100 t, respectivement (Environnement Canada, 2000). Ainsi, les initiatives réglementaires canadiennes conformes à la stratégie engendreront probablement un excédent notable de SACO, qu'il faudra éliminer pour éviter leur rejet ultime dans l'atmosphère et la dégradation supplémentaire de la couche d'ozone.

1.3 Examens antérieurs des technologies d'élimination des substances qui appauvrissent la couche d'ozone

En 1990, un comité consultatif technique (CCT) spécial a été créé, sous les auspices du Programme des Nations Unies pour

1. « Il est prévu que, grâce aux mesures adoptées par les pays signataires du Protocole de Montréal à la réunion tenue à Copenhague en 1992, la couche d'ozone se sera rétablie complètement en 2080. » (*Gazette du Canada*, 1995).

l'environnement (PNUE), pour s'attaquer à la question des SACO excédentaires et revoir les technologies d'élimination de ces substances. Le rapport du CCT de 1992 recommandait six techniques de destruction, employant toutes la thermooxydation (incinération) (PNUE, 1992). Le rapport du CCT recommandait également la création d'une commission consultative pour réévaluer périodiquement ces techniques de destruction de SACO et évaluer les nouvelles techniques.

En 1993, la Commission d'évaluation technique et économique (CETE) était mandatée pour actualiser le rapport de 1992 du CCT. En 1994, la CETE a recommandé que le CCT se réunisse de nouveau avec un groupe de l'industrie du secteur des technologies et de fonctionnaires chargés de la réglementation pour actualiser le rapport du CCT de 1992. Suite à cette recommandation, un atelier spécial, parrainé par le PNUE, a eu lieu à Montréal en mai 1995. Le rapport résultant de cette rencontre a recensé un certain nombre de technologies offertes sur le marché à l'époque, comprenant plusieurs technologies émergentes de destruction et de transformation chimique des SACO (PNUE, 1995). Selon le rapport du PNUE de 1995, les installations existantes de destruction des SACO des pays industrialisés suffiraient à l'élimination des déchets actuels et projetés de ces substances jusqu'en 2000. Les technologies, existantes et nouvelles, ont été jugées capables de traiter les excédents de SACO après 2000, mais la destruction de ces substances dépendrait non seulement de l'accessibilité des technologies mais, aussi, de la capacité disponible ainsi que de l'efficacité des stimulations économiques et réglementaires.

1.4 Le plan d'action national pour les substances qui appauvrissent la couche d'ozone

Le vérificateur général du Canada a décrit, dans son rapport de 1997, la nécessité pour Environnement Canada, d'exprimer nettement une stratégie de gestion et d'élimination des excédents de SACO (VGC, 1997). Le plan d'action national révisé du CCME de 1998 (*Plan d'action national pour le contrôle environnemental des substances appauvrissant la couche d'ozone (SACO) et leurs halocarbures de remplacement)* [le PAN révisé] renfermait une initiative pour élaborer un plan d'élimination des excédents de CFC et de halons (CCME, 1998). Le plan d'action national (PAN) a été encore une fois remis à jour en mai 2001 et contient les tâches identifiées dans la stratégie.

À cette fin, une analyse de présélection de 42 technologies identifiées a été effectuée afin de créer un sous-ensemble de technologies acceptables sur le plan environnemental et offertes sur le marché pour l'élimination des excédents canadiens de SACO. Les techniques d'élimination des substances appauvrissant la couche d'ozone, ayant franchi l'étape de cette présélection, ont été évaluées d'après des critères environnementaux et techniques, puis d'après des critères commerciaux et économiques. L'évaluation environnementale et technique de ces technologies présélectionnées fournit aux intéressés des renseignements supplémentaires qui leur permettront de déterminer quelles techniques conviendraient à l'élimination des excédents actuels et futurs de SACO au Canada. L'évaluation commerciale et économique fournit aux intéressés une information actualisée sur l'état de mise en valeur et d'accessibilité commerciale des technologies et sur les coûts moyens estimés de l'élimination, dans le cas des technologies déjà identifiées comme acceptables pour l'environnement. Ainsi, la présélection permet de cerner les techniques d'élimination des SACO qui sont acceptables pour l'environnement et offertes sur le marché; l'analyse secondaire donne une information plus détaillée sur les aspects environnementaux, techniques, commerciaux et économiques.

1.5 Objectifs et portée

L'objectif du présent document est de fournir aux Canadiens intéressés des renseignements actualisés et des recommandations sur les normes ou les lignes directrices de rendement acceptables pour la destruction des SACO.

Les objectifs spécifiques sont :

- l'identification des critères spécifiques de rendement des technologies d'élimination des SACO;
- l'identification des technologies d'élimination des SACO offertes sur le marché;
- une information sur ces technologies, comprenant l'information technique, l'état du développement et les coûts estimatifs;
- l'identification des technologies satisfaisant aux normes environnementales et techniques minimales;
- l'évaluation environnementale et technique des technologies de destruction des SACO disponibles depuis 2000;
- l'évaluation des aspects commerciaux et pécuniaires des technologies accessibles;
- la description sommaire des aspects réglementaires reliés à la manutention des SACO excédentaires au Canada, incluant des règlements fédéraux et provinciaux applicables et le transport, l'entreposage et les mentions obligatoires.

L'élimination se réfère à la destruction des SACO, leur transformation en une autre matière non dangereuse ou leur stabilisation de façon à supprimer de façon permanente le danger qu'elles posent pour l'environnement. Dans les faits, les technologies d'élimination des SACO se limitent aux deux premières de ces trois possibilités. Il ne sera pas question dans le présent document des initiatives de gestion englobant le recyclage, la réutilisation ou le rejet dans l'atmosphère, mais uniquement des activités menant au retrait permanent des SACO des stocks excédentaires au Canada.

La portée du présent document se limite à la détermination des technologies d'élimination des SACO qu'il convient d'envisager pour l'élimination des excédents actuels et futurs de SACO au Canada et qui satisfont aux normes recommandées de rendement. Bien que les technologies d'élimination soient sujettes à un rang basé sur des critères économiques et environnementaux, il faut mentionner que cela n'indique aucunement une préférence pour l'une ou l'autre des technologies. L'information relative à chaque technologie est plutôt présentée pour aider le lecteur dans la sélection de la technologie la plus appropriée à sa situation. Par exemple, une technologie possédant un rang élevé, basé sur des critères environnementaux, peut ne pas être appropriée pour des raisons économiques. Ce guide vise à fournir une structure pour la discussion prévue sur les technologies à prendre en considération pour l'élimination des SACO excédentaires au Canada.

Les technologies abordées dans les documents du PNUE de 1992 et 1995 sur l'élimination des SACO employaient généralement la destruction par la thermooxydation. La communauté internationale est fortement intéressée à utiliser d'autres technologies que l'incinération pour l'élimination des SACO; des technologies qui ne produisent pas de gaz à effet de serre et qui ne risquent pas de rejeter des dioxines et des furannes. En prenant en ligne de compte la portée de ce document, les technologies de transformation chimique et les technologies autres que l'incinération sont identifiées et décrites, et pourraient constituer des solutions de rechange à l'incinération.

Examen des technologies d'élimination des substances qui appauvrissent la couche d'ozone

2.1 Survol

Les efforts visant à éliminer progressivement la production et l'emploi des SACO de part le monde, en grande partie reliés aux résultats des initiatives du *Protocole de Montréal,* ont mené à la mise au point de technologies d'élimination permanente de ces substances. Dans certains pays d'Europe, les restrictions rigoureuses sur l'emploi des CFC et des halons ont entraîné l'accumulation rapide d'excédents de SACO et l'élaboration de programmes pour leur élimination complète. La Suède, notamment, a déjà détruit la plus grande partie de ses stocks excédentaires de CFC et de halons.

Jusqu'à ce jour, les technologies utilisées pour l'élimination des SACO, en Europe, ont été en grande partie l'incinération. Cela est également vrai de la plupart des SACO détruites jusqu'à ce jour ailleurs dans le monde, comprenant les États-Unis et le Japon. Une exception notable est l'Australie, où une quantité importante des stocks de halons excédentaires a été détruite à l'aide d'une technologie des plasmas d'argon.

En prévision de la nécessité de fournir aux propriétaires actuels ou futurs de SACO excédentaires au Canada un choix convenable parmi les technologies d'élimination, Environnement Canada a commandé l'examen des technologies existantes d'élimination de SACO. Le texte qui suit offre une structure pour l'évaluation et le classement de ces technologies qui vise à renseigner les intéressés sur l'accessibilité des technologies et à les informer sur leurs aspects environnementaux, techniques, commerciaux et économiques.

L'annexe B renferme une description détaillée des technologies offertes sur le marché pour l'élimination des SACO. Cette description s'étend au delà de l'information recueillie dans les documents du PNUE de 1992 et de 1995, tirée des publications les plus récentes ainsi que de nombreuses communications personnelles avec des représentants d'installations d'élimination de déchets chimiques, des créateurs de technologies d'élimination des SACO, des spécialistes universitaires et des fonctionnaires de divers pays. Un certain nombre de technologies nouvelles, omises des rapports antérieurs du PNUE, ont été identifiées et sont discutées. Dans le cas des technologies identifiées auparavant, l'information a été actualisée, notamment en ce qui concerne l'état de leur perfectionnement, leur accessibilité sur le marché et leur coût.

À l'origine, 42 technologies d'élimination des SACO identifiées ont été évaluées en fonction d'un ensemble de critères afin de déterminer si elles étaient acceptables pour l'environnement et offertes sur le marché. De ces 42 technologies, 26 n'ont pas satisfait aux critères, typiquement parce qu'elles n'ont pas été considérées comme offertes sur le marché. C'est pourquoi ce groupe de 26 technologies a été désigné sous l'appellation de *technologies émergentes*.

Les 16 technologies qui ont satisfait aux exigences ont été soumises à deux évaluations supplémentaires distinctes, l'une comportant un ensemble de critères environnementaux et techniques (§ 2.3) et l'autre s'attachant aux critères commerciaux et économiques (§ 2.4). Dans le présent document, ces 16 technologies sont qualifiées d'offertes sur le marché; cependant, elles satisfont aussi aux critères environnementaux et techniques. Ainsi, elles sont plus précisément qualifiées d'*offertes sur le marché* et d'*acceptables pour l'environnement*.

Pour des raisons de commodité, les technologies d'élimination des SACO ont été groupées en

trois catégories générales : les technologies d'incinération, les technologies des plasmas et les technologies sans incinération. Comme il sera souligné plus en détail dans le texte qui suit, les technologies des plasmas ne sont pas considérées comme des technologies d'incinération, en dépit de la destruction thermique des SACO, parce que cette destruction survient en présence de gaz inerte et qu'elle évite les réactions d'oxydation.

2.2 Présélection des technologies d'élimination des substances qui appauvrissent la couche d'ozone

La présélection des 42 technologies identifiées dans le présent rapport a consisté à déterminer et à appliquer des critères pour la sélection des technologies offertes sur le marché et acceptables pour l'environnement. Ces critères ont été établis conjoitement avec Environnement Canada, un comité d'examen formé d'experts et un groupe de travail composé de personnes intéressées. Seules les technologies satisfaisant aux critères de présélection ont fait l'objet d'une évaluation plus poussée, puis ont été classées en fonction d'évaluations environnementales, techniques, commerciales et économiques.

Les critères de présélection sont :

1. Les polychlorodibenzo-*p*-dioxines (PCDD) et les polychlorodibenzofurannes (PCDF) totales présentes dans les émissions des cheminées ne doivent pas excéder l'équivalence toxique de 0,1 ng/m^3, (EqT) [2] selon la méthode internationale (OTAN, 1988; Van de Berg, 1998);

2. L'efficacité de la destruction ou de la transformation ne doit pas être inférieure à 99,7 % [3];

3. La technologie d'élimination doit être offerte sur le marché au plus tard le 1er janvier 2003.

Par le passé, une norme minimale possédant un taux d'efficacité de destruction d'au moins 99,99 % a été proposée (PNUE, 1992). Néanmoins, d'autres aspects sont à prendre en considération, par exemple les effets environnementaux, l'accessibilité sur le marché, les coûts et le caractère pratique. Dans la pratique, une technologie de destruction notablement moins efficace, mais limitant très bien la production de gaz à effet de serre, peu coûteuse, généralement offerte sur le marché et pratique pour les propriétaires de stocks excédentaires de SACO, peut être plus efficace pour la réduction des émissions globales de SACO qu'une technologie coûteuse, peu pratique mais hautement efficace. Les technologies dont l'efficacité de la destruction était d'à peine 99,7 % devaient, en conséquence, être prises en considération. Une pondération très élevée a été accordée au critère d'efficacité de la destruction dans l'évaluation environnementale et technique subséquente, puisqu'il a été jugé un critère déterminant d'une technologie acceptable pour l'environnement.

En ce qui a trait au critère de présélection à l'égard des émissions de dioxines et de furannes, une norme recommandée de rendement de 0,1 ng/m^3 (EqT) a été établie. Même si, par le passé, une norme de 1,0 ng/m^3 (EqT) a été proposée [PNUE, 1992], les avancées technologiques des dernières années ont justifié un niveau notablement plus rigoureux. Cette valeur correspondait également à celle qui avait été proposée pour les *Standards pancanadiens relatifs aux dioxines et aux furannes*. Ce critère a également bénéficié d'une forte pondération dans l'évaluation environnementale et technique subséquente, en raison de préoccupations concernant des effets nocifs sur la santé imputés à ces substances. Les dioxines et les furannes ont été classées dans le

[2] Pour le processus de présélection, le critère était de 0,1, mais les standards pancanadiens (SPC) recommandent 0,08.

[3] L'efficacité destructive minimale des techniques offertes sur le marché était de 99,7 %. Les taux inférieurs auraient été considérés, mais le problème ne s'est pas posé dans la pratique.

groupe des substances les plus toxiques du Canada et, en vertu de la nouvelle *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*, elles peuvent être désignées à la quasi-élimination. Il est donc important de favoriser les technologies d'élimination qui réduisent au minimum ou suppriment les émissions de dioxines et de furannes.

Le troisième critère de sélection, l'accessibilité sur le marché, était dans la pratique le plus rigoureux des critères d'évaluation des technologies identifiées d'élimination. Les technologies n'ayant pas satisfait aux exigences ont invariablement été celles jugées non accessibles sur le marché. Toutes les technologies examinées ont satisfait aux critères d'efficacité de la destruction, notamment parce que des unités étagées pourraient, en théorie, assurer à la destruction l'efficacité souhaitée (bien que cette stratégie élève naturellement les coûts). De même, toutes les technologies identifiées ont satisfait au critère des dioxines et des furannes. L'intention était d'éviter de disqualifier une technologie, incluant les diverses technologies d'incinération, s'il était raisonnable de supposer que de bonnes conditions d'exploitation et des dispositifs convenables de maîtrise des émissions feraient respecter les critères techniques et environnementaux obligatoires. Certains mécanismes auraient évidemment besoin d'être mis en place afin de traiter des exceptions concernant des installations individuelles ou dans des cas particuliers où les critères environnementaux et techniques peuvent ne pas être satisfaits; cependant, cela ne disqualifierait pas nécessairement la technologie elle-même.

La définition de la notion de « offert sur le marché » a nécessité des éclaircissements et l'exercice du jugement. La définition de travail était, en parlant d'une technologie : qui est commercialement viable, offerte à l'échelle industrielle, d'une capacité qui n'est pas sensiblement limitée par aucun facteur ou combinaison de facteurs. Il a été supposé que tout procédé éprouvé dans l'industrie, n'importe où dans le monde, était offert sur le marché pour l'élimination des SACO excédentaires au Canada. Lorsqu'un procédé utilisait une technologie exclusive, il a été supposé qu'il pouvait être l'objet d'un contrat de concession de licence pour le Canada. Dans les cas où une installation existait à l'échelle industrielle et avait été éprouvée sur les BPC ou sur d'autres composés organochlorés (qui n'étaient pas des SACO), il a été supposé que la technologie pouvait s'appliquer aux SACO, bien que l'appel au jugement professionnel a été effectué pour chacun des cas. Il fallait au moins que les essais à l'échelle pilote aient été effectués pour que la technologie fût considérée comme offerte sur le marché. Les essais en laboratoire n'ont pas été jugés suffisants, quelles qu'en aient été les promesses, pour déterminer l'accessibilité de la technologie dans un délai aussi court. En général, ce critère a été interprété de façon prudente, c'est-à-dire en n'excluant aucune technologie, à moins d'estimer tout à fait improbable son accessibilité sur le marché avant 2003. Dans le doute, la technologie a été prise en ligne de compte et évaluée, en gardant à l'esprit que l'accessibilité sur le marché était aussi un critère de classement au cours de la deuxième évaluation commerciale et économique.

Une liste de technologies qui ont satisfait aux critères de présélection quant au rendement technique, à la protection de l'environnement et à l'accessibilité sur le marché est offerte ci-dessous. Les technologies ont été rassemblées sous trois rubriques : les technologies des plasmas, les technologies d'incinération et les autres technologies n'employant pas l'incinération. Il importe de noter que les technologies des plasmas emploient ordinairement des atmosphères inertes, comme l'argon; ainsi, bien qu'elles utilisent une méthode de destruction thermique, elles n'entraînent pas d'oxydation, ce qui limite le risque de production de dioxines et de furannes. Les technologies des plasmas ne sont donc pas considérées comme des technologies d'incinération.

Technologies des plasmas (n'employant pas l'incinération)

- Plasma radiofréquence inductif (PRFI)
- Plasma-arc d'argon
- Plasma à courant alternatif

Autres technologies n'employant pas l'incinération

- Électrons solvatés
- Photolyse aux UV
- Réduction chimique en phase gazeuse
- Déshalogénation catalytique
- Conversion chimique en phase liquide
- Vitrification

Technologies d'incinération

- Incinération à haut rendement
- Incinération à injection liquide
- Incinération en four rotatif
- Combustion en chemisage réfractaire des gaz et émanations
- Incinération en lit fluidisé à circulation interne (LFCI)
- Incinération en four de cimenterie
- Incinération en réacteur de craquage

Par suite du processus de présélection, 16 des 42 technologies examinées se sont révélées satisfaire aux exigences minimales de rendement technique et d'accessibilité sur le marché. Sept étaient des technologies d'incinération reconnues, neuf des technologies n'employant pas l'incinération (trois technologies des plasmas et six technologies dites *autres*). Ces 16 technologies offertes sur le marché ont ensuite été évaluées d'après des critères environnementaux et techniques ainsi que des critères commerciaux et économiques (§ 2.3 et 2.4).

2.3 Évaluation environnementale et technique

L'efficacité de la destruction était un élément important de l'examen des technologies d'élimination des SACO par le Comité consultatif technique du PNUE (PNUE, 1992; 1995). Outre la norme établie comme critère obligatoire de la présélection, le critère d'efficacité de la destruction a aussi bénéficié d'une pondération très importante (50 %) dans cette évaluation environnementale et technique. Le rapport du PNUE de 1992 décrivait une norme d'efficacité de la destruction d'au moins 99,99 % comme étant « facilement atteignable dans les installations de destruction bien conçues et bien exploitées ». En outre, il y était déclaré que cette norme « établit l'équilibre entre les installations de destruction à très haute efficacité (> 99,999 9 %) offertes sur un marché limité et les installations à haute efficacité (> 99,99 %) offertes sur la plus grande partie du marché mondial potentiel » (PNUE, 1992). Il existe cependant un équilibre entre l'efficacité de la destruction et d'autres critères tels que les répercussions sur l'environnement, l'accessibilité sur le marché, le coût et le caractère pratique. En conséquence, des technologies possédant une efficacité de destruction aussi faible que 99,7 % ont également été prises en considération. Il faut prendre note que des 16 technologies évaluées, seulement deux possédaient une efficacité de destruction de moins de 99,99 %. Il est clair que les technologies utilisées pour éliminer les SACO devraient posséder une efficacité de destruction aussi élevée que possible afin de réduire au minimum les émissions atmosphériques ultimes de SACO.

La destruction des SACO résulte habituellement en divers dérivés chimiques qui peuvent eux-mêmes être préoccupants s'ils sont libérés dans l'environnement. Les différentes technologies d'élimination des SACO engendrent des dérivés différents (gaz acides, gaz à effet de serre, halogénures). Un critère a été ajouté pour favoriser les technologies qui évitent d'engendrer des émissions ou des déchets qui peuvent être toxiques ou peuvent présenter un problème en matière d'émissions atmosphériques ou de gestion des déchets. L'échelle d'évaluation du critère allait de la production nulle d'émissions ou de déchets à une production considérable d'émissions ou de déchets dangereux.

Deux critères finals ont été ajoutés, ayant estimé qu'il fallait envisager de privilégier les

technologies d'élimination des SACO consommant peu d'énergie et permettant de récupérer des produits chimiques utiles.

Le tableau 1 résume les données brutes utilisées pour évaluer les technologies selon les critères environnementaux et techniques, ainsi que des notes précisant l'origine des données ou précisant les estimations ou les hypothèses utilisées pour déterminer les valeurs individuelles.

Le tableau 2 classe les technologies en indiquant le total de tous les pointages pondérés des évaluations en fonction de chaque critère technique, le total étant ensuite ramené sur une échelle de 100.

Ce classement des technologies d'élimination ne vise pas à disqualifier ou à éliminer d'examens plus poussés celles qui se trouvent au bas du classement. Toutes ces technologies satisfont aux exigences **minimales** de rendement retenues dans la présélection. Le classement identifie cependant les technologies qui satisfont le mieux aux critères environnementaux et techniques jugés les plus souhaitables pour les technologies d'élimination des SACO. Fait intéressant à noter, parmi les six premières technologies, deux représentent des installations fonctionnant au Canada et quatre représentent des technologies offertes sur le marché dans d'autres pays (deux aux États-Unis, une principalement en Allemagne et une en Australie). Les technologies étrangères pourraient être l'objet d'un contrat de concession de licence pour la construction d'installations au Canada, ou alternativement, l'exportation des SACO à des fins de destruction pourraient être envisagée.

2.4 Évaluation commerciale et économique

Le but du processus de classement choisi est de fournir une information actualisée sur les technologies d'élimination des SACO, en insistant sur les coûts de l'élimination et sur l'accessibilité.

L'analyse est fondée sur l'information disponible et sur le meilleur jugement des ingénieurs chimistes qui ont été en consultation avec les spécialistes de l'industrie, du gouvernement et des universités. Il serait bon de noter qu'une analyse détaillée et rigoureuse des coûts de chaque technologie dépassait l'objectif du présent document.

Au cours de la présélection, aucun critère minimal n'a été établi relativement aux coûts, mais dans la pratique, ce paramètre sera probablement l'un des facteurs les plus importants de la vitesse et de l'efficacité avec lesquelles les personnes concernées collecteront et élimineront les excédents de SACO au Canada.

Comme il a été fait pour l'efficacité de la destruction et le critère relatif aux dioxines et furannes, l'accessibilité sur le marché a été utilisée comme critère de présélection et critère de classement dans les analyses secondaires. Considérant que les technologies étudiées seront offertes sur le marché pour l'élimination des excédents canadiens de SACO d'ici 2003, il subsiste beaucoup de variabilité dans ce qu'il est entendu par « offert sur le marché ». Les technologies utilisées à l'échelle industrielle et actuellement exploitées ont bénéficié d'un pointage plus élevé que les technologies qui n'avaient été éprouvées qu'à l'échelle pilote ou qui étaient destinées à des installations commerciales projetées, mais sous réserve des conditions du marché.

Les technologies d'élimination des SACO situées à proximité géographique du Canada ont bénéficié d'une certaine considération.

Le tableau 3 classe les technologies d'après la somme de tous les pointages pondérés correspondants à chaque critère d'évaluation et le total est ensuite converti et ramené à l'échelle de 100.

Tableau 1. — Données techniques pour l'évaluation des technologies d'élimination des substances qui appauvrissent la couche d'ozone

Technologie	Efficacité de la destruction (%)	Dioxines et furannes (ng/m^3)	Autres effluents	Consommation d'énergie (kW·h/kg de CFC)	Récupération chimique
Incinération					
À haut rendement	99,999 90 [b]	0,100 [a]	sel/GES	1,71 [j]	Non
À injection liquide	99,990 00 [a]	0,100 [a]	sel/GES	1,30 [k]	Non
En four rotatif	99,990 00 [a]	0,100 [a]	sel/GES	1,54 [l]	Non
Des gaz et émanations	99,990 00 [a]	0,100 [a]	sel/GES	1,30 [l]	Non
En LFCI	99,999 00 [b]	0,100 [a]	sel/GES	1,30 [l]	Non
En four de cimenterie	99,990 00 [a]	0,100 [a]	GES	1,86 [m]	Non
En réacteur de craquage	99,999 00 [b]	0,100 [b]	eau usée	1,55 [b]	Oui
Des plasmas (n'employant pas l'incinération)					
PRFI	99,990 00 [b]	0,025 [b]	sel	3,70 [n]	Non
D'argon	99,999 90 [b]	0,025 [b]	sel	2,30	Non
À courant alternatif	99,990 00 [j]	0,025 [e]	sel	2,10 [o]	Non
Autres (n'employant pas l'incinération)					
Électrons solvatés	99,990 00 [b]	0,010 [d]	sel	10,00 [p]	Non
Photolyse aux UV	99,900 00 [b]	0,010 [d]	revêtements usés	10,00 [f]	Non
Réduction chimique en phase gazeuse	99,999 90 [c]	0,060 [b]	sel	1,38 [g]	Non
Déshalogénation catalytique	99,999 00 [c]	0,010 [d]	sel	0,79 [h]	Non
Conversion chimique en phase liquide	99,700 00 [b]	0,010 [d]	sel	3,00 [b]	Non
Vitrification	99,999 90 [b]	0,100 [i]	fritte de verre	4,88 [b]	Non

a Typique de l'incinération classique.
b Données signalées.
c Données signalées pour les BPC; devraient être semblables pour les CFC.
d Valeur alléguée et prévue pour être quasi nulle en raison de la basse température du procédé.
e Jugé semblable au PRFI.
f Un spécialiste a estimé une valeur beaucoup plus élevée.
g Valeur estimée : température élevée, mais combustible récupéré.
h Valeur estimée : température modérée.
i Valeur posée comme pouvant être limitée à un niveau acceptable.
j L'exploitant a signalé une valeur inférieure; corrigée selon les commentaires d'un spécialiste.
k Signalée par un spécialiste pour la co-incinération.
l Jugé semblable à l'injection liquide.
m Valeur corrigée pour fonctionnement à 1 400 °C.
n Valeur signalée et corrigée selon le refroidissement dans le procédé PLASCON.
o Valeur estimée en employant une efficacité de 90 %.
p Une valeur signalée est beaucoup plus élevée.

Tableau 2. — Classement environnemental et technique des technologies d'élimination des substances qui appauvrissent la couche d'ozone

Technologie	Rang	Pointage
Plasma d'argon	1	76
Réduction chimique en phase gazeuse	2	71
Déshalogénation catalytique	3	69
Vitrification	4	69
Réacteur de craquage	5	67
Incinération à haut rendement	6	65
Incinération en LFCI	7	51
PRFI	8	46
Électrons solvatés	9	45
Plasma à courant alternatif	10	39
Incinération en four de cimenterie	11	39
Incinération à injection liquide	12	36
Incinération des gaz et émanations	13	36
Incinération en four rotatif	14	36
Conversion chimique en phase liquide	15	31
Photolyse aux UV	16	30

Tableau 3. — Classement commercial et économique d'élimination des substances qui appauvrissent la couche d'ozone

Technologie	Rang	Pointage
Incinération en four de cimenterie	1	90
Plasma d'argon	2	89
Incinération en four rotatif	3	88
Incinération à injection liquide	4	88
Incinération des gaz et émanations	5	88
Incinération à haut rendement	6	86
Déshalogénation catalytique	7	84
Conversion chimique en phase liquide	8	83
Réacteur de craquage	9	82
Plasma à courant alternatif	10	80
Vitrification	11	80
PRFI	12	76
Réduction chimique en phase gazeuse	13	69
Incinération en LFCI	14	66
Électrons solvatés	15	29
Photolyse aux UV	16	14

Dans la plupart des cas, l'information directe sur les coûts, fournie par les exploitants d'installations de destruction ou par les fournisseurs de la technologie, a été utilisée; cependant, ces données ne peuvent pas être considérées comme nécessairement précises. Les coûts fournis par les exploitants d'installations de destruction tendaient à être des coûts globaux, comprenant généralement les frais généraux d'exploitation, les coûts de l'élimination des déchets et les amortissements. Les estimations relatives aux nouvelles technologies tendent à être optimistes, plus particulièrement lorsque l'expérience de leur exploitation est limitée et qu'elles ne comprennent souvent que les coûts directs d'exploitation. Cependant, les coûts d'exploitation de la plupart des technologies de destruction sont relativement élevés par rapport aux coûts limités d'équipement qui sont déclarés, de sorte que le coût global de la destruction sera plus fortement influencé par les coûts d'exploitation.

D'après les estimations des coûts accessibles, il a été prédit que les coûts de la destruction par incinération seraient de l'ordre de 5 $/kg, en moyenne, c'est-à-dire, dans l'intervalle des coûts moyens à élevés pour les technologies d'élimination des SACO, sauf si d'autres informations spécifiques suggèrent le contraire. À noter que les coûts de l'incinération ont sensiblement diminué ces dix dernières années et que les coûts moyens pourraient bien être inférieurs à cette valeur estimée. L'estimation des coûts pour le procédé d'incinération en four de cimenterie est une hypothèse approximative des coûts moyens d'exploitation, vu la large fourchette attendue d'une installation à l'autre. De même, le coût d'exploitation de la technologie de réduction chimique en phase gazeuse (10 $/kg) était une estimation prudente élevée, fondée sur l'interprétation des détails du procédé.

Contrairement au classement environnemental et technique, le classement commercial et économique ne vise pas à déterminer la « meilleure » technologie. Des considérations non économiques peuvent faire croire que les technologies classées à la fin de cette liste peuvent convenir davantage que d'autres classées au début. Si cela était vrai, la valeur de cet exercice serait de cerner les obstacles économiques éventuels au choix d'une telle technologie. Précisons-le de nouveau, l'objectif est de fournir aux organismes de réglementation et aux intéressés, de l'information actuelle sur les aspects commerciaux et économiques associés aux technologies d'élimination des SACO accessibles. Toutes ces technologies satisfont aux exigences minimales de rendement technique et d'accessibilité sur le marché. Cependant, quelques-unes reçoivent un pointage très faible par rapport à la plupart des autres et il est peu probable qu'elles seront sérieusement examinées ultérieurement.

Les intéressés sélectionneront une technologie d'élimination d'après des critères qu'ils jugent importants, et ces critères peuvent ne pas coïncider exactement avec ceux de la présente évaluation. Les coûts de l'élimination, toutefois, domineront probablement toute évaluation commerciale des technologies, comme ils l'ont fait dans la présente évaluation.

Stockage, transport et réglementation

3.1 Survol et règlements applicables

Ces dernières années, en Australie, des quantités considérables de halons excédentaires ont déjà été amassées et détruites; toute la manutention, tout le transport, tout l'étiquetage et toutes les exigences à l'égard des contenants sont l'objet de diverses normes nationales et étatiques. Les méthodes de manutention du produit récupéré ne diffèrent pas essentiellement de celles qui s'appliquent aux matières vierges; il n'existe donc pas d'obstacles considérables ou particuliers à la manutention et au transport des SACO destinées au recyclage ou à la destruction.

Aux États-Unis, la manutention et le transport de SACO relèvent des lois nationales (par opposition aux lois étatiques) et les exigences applicables sont décrites dans les articles 608 et 609 de l'*United States Clean Air Act* (loi sur la lutte contre la pollution atmosphérique des États-Unis) [1990].

Les règlements qui s'appliquent à la manutention des SACO au Canada dépendent du classement de ces substances comme excédentaires ou non (c'est-à-dire si ces substances sont considérées ou non comme des déchets dangereux) et de la traversée de frontières nationales ou provinciales, dans le cas du transport. La désignation de ces substances comme déchets dangereux est un enjeu vital : en effet il en découle ordinairement une série d'exigences spécifiques à l'égard de la manutention et des manifestes de transport exigés en application des règlements fédéraux ou provinciaux, ou les deux. Il est grandement recommandé de contacter les autorités provinciales avant d'expédier des SACO afin de s'assurer d'une classification adéquate conformément au *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses (RTMD).* Bien qu'il importe de distinguer matières vierges et matières usées, dans la pratique, la distinction capitale se situe entre les SACO qui restent un produit viable sur la scène commerciale et les SACO considérées comme excédentaires. Une définition plus précise d'« *excédentaire* » peut être retrouvée dans le RTMD où on exclut explicitement de la définition de déchet *« les produits, matières et organismes [...] retournés directement au fabricant ou au fournisseur pour retraitement, réemballage ou revente, comprenant ceux qui sont, [selon le cas] : (i) défectueux ou autrement inutilisables aux fins auxquelles ils étaient initialement destinés, (ii) excédentaires tout en étant encore utilisables aux fins auxquelles ils étaient initialement destinés »* (Environnement Canada, 1992). Le transport des déchets peut entraîner l'application du Règlement sur les déchets dangereux dans les installations fédérales.

En général, la SACO qui n'est pas considérée comme déchet dangereux ou qui est exemptée des règlements sur les déchets dangereux peut être manutentionnée, expédiée et utilisée conformément aux pratiques commerciales habituelles; les seules restrictions visent l'expédition à l'extérieur du Canada, auquel cas s'applique le *Règlement sur les substances appauvrissant la couche d'ozone* (1998) (de même que le *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses*). Le premier de ces règlements interdit l'exportation et l'importation de SACO vierges pour la vente et l'utilisation, ainsi que l'importation de SACO régénérées ou recyclées; ces dernières peuvent cependant être exporter pour la vente et la réutilisation, à condition d'obtenir le permis à cette fin. Les exportations de SACO pour leur destruction sont autorisées sous certaines restrictions et sous réserve de l'obtention des manifestes appropriés.

Actuellement, rien n'empêche, au Canada, le remplissage à neuf de l'équipement (tel que les unités de réfrigération ou de climatisation et des systèmes d'extinction des incendies) avec les CFC ou les halons convenables, à l'exception du

remplissage à neuf des systèmes de climatisation des automobiles et des extincteurs portatifs au halon, assujettis, dans plusieurs provinces, à la loi de la province. Le CCME a rendu public en mai 2001, la *Stratégie canadienne pour accélerer l'élimination progressive des utilisations de CFC et de halons et pour éliminer les stocks excédentaires.* Cette initiative mènera à l'adoption de lois provinciales restreignant, dans les prochains cinq ans, le remplissage à neuf de cet équipement avec des CFC et des halons. Dès que cette opération sera interdite, des quantités considérables de SACO deviendront excédentaires au Canada, puisqu'elles ne pourront plus être utilisées à la fin prévue initialement.

Outre les matières vierges, pour lesquelles il peut ne plus y avoir d'usage commercial ou d'usage autorisé, il existe deux grandes catégories de déchets refermant des SACO :

- les déchets destinés au recyclage, c'est-à-dire les SACO renfermant des impuretés qui, une fois éliminées ou traitées d'une certaine manière, peuvent être utilisées aux fins auxquelles elles étaient d'abord destinées ou à d'autres fins;

- les déchets destinés à l'élimination.

En supposant qu'aucune ne soit classée comme déchet dangereux en vertu d'un règlement fédéral ou provincial, le premier type de déchet peut être manutentionné et expédié à des recycleurs autorisés de SACO, tandis que le dernier peut être manutentionné et expédié à des installations d'élimination autorisées, conformément aux marches à suivre décrites ci-dessous (c'est-à-dire que, dans le cas des gaz comprimés, le *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses* s'appliquerait).

Dès que la SACO est considérée comme excédentaire, elle devient par définition un déchet dangereux. C'est-à-dire que dès qu'il n'existe plus de marché pour un CFC ou un halon vierge ou usé et qu'il n'est plus possible de régénérer, de recycler ou de réutiliser la SACO et que cette dernière ne peut pas être exportée à des fins de destruction ou à toute autre fin, elle est automatiquement considérée comme substance contrôlée et comme déchet dangereux. Une SACO qui circule d'une compagnie à l'autre ou qui est expédiée pour servir dans une autre application n'est pas considérée comme déchet dangereux tant qu'il n'a pas été tenté de la traiter ou de la modifier de quelque façon que ce soit.

Dès que la substance est considérée comme un déchet dangereux, un règlement provincial ou fédéral (ou les deux) en régit le transport et la manutention. Les manifestes et les règlements applicables au transport des déchets dangereux diffèrent selon que des frontières sont traversées ou selon le type de frontières franchies (provinciales ou internationales). Si la substance est envoyée à l'extérieur du Canada, l'autorité en la matière est la Direction des mouvements transfrontières d'Environnement Canada et le transport ainsi que la manutention de la substance relèvent du *Règlement sur l'exportation et l'importation des déchets dangereux*, sous le régime de la LCPE (Environnement Canada, 1992). Si elle passe dans une autre province, cela relève de Transports Canada, c'est-à-dire que le transport et la manutention seraient régis par le *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses*. Si le transport se passe uniquement à l'intérieur de la province, alors cette dernière est entièrement compétente en la matière et seuls les règlements de la province s'appliquent. Tous ces règlements décrivent des prescriptions spécifiques à l'égard de la manutention, de l'entreposage et du transport des déchets dangereux, assorties de dispositions détaillées sur les manifestes.

L'annexe A énumère les contacts dans les administrations fédérales et provinciales qui peuvent aider à déterminer quels règlements sur les déchets dangereux s'appliquent, le cas échéant, aux cas individuels. Un autre contact utile, la Direction des mouvements transfrontières d'Environnement Canada, peut être rejoint au (819) 953-3378.

Il importe de noter qu'une substance peut être considérée comme un déchet dangereux en vertu des règlements de la province même si les règlements nationaux ne la considèrent pas comme tel. Par exemple, en Ontario, les substances R-11 et R-12 usées sont considérées comme des déchets dangereux (en vertu du Règlement 347, (R50, 1990)), même si elles peuvent être régénérées et recyclées en vue d'une utilisation commerciale ultérieure. Cependant, si ces substances doivent être recyclées totalement ou être envoyées chez un grossiste qui a l'intention de collecter la SACO et de l'envoyer chez un recycleur ou dans une usine d'élimination des déchets dangereux, elles sont soustraites à l'application des règlements sur les déchets dangereux et peuvent être transportées assez simplement (conformément aux marches à suivre fondamentales décrites dans le *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses*). Cette exemption assure donc un mécanisme important par lequel les intéressés peuvent manutentionner et transporter des SACO excédentaires et régénérables en Ontario sans avoir à suivre les procédures des manifestes applicables aux déchets dangereux.

La plupart des manifestes provinciaux s'inspirent assez fidèlement des méthodes utilisées par la Direction des mouvements transfrontières d'Environnement Canada, bien que des provinces appliquent des dérogations bien précises ou des dispositions particulières, comme il vient d'être décrit. Dans la pratique, Environnement Canada s'occupe des aspects environnementaux du transport interprovincial des marchandises dangereuses. En vertu de la nouvelle LCPE, ces champs de compétences ont été transférés de Transports Canada à Environnement Canada. Transports Canada (c'est-à-dire le service chargé de l'application du *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses*) continue de s'occuper de détails tels que les protocoles d'emballage, d'étiquetage, etc. En ce qui concerne le suivi ou l'inventaire du mouvement des déchets dangereux, les provinces en sont chargées, tant que ce transport s'effectue au Canada, et cette information est accessible sur les manifestes interprovinciaux applicables à chaque expédition. L'information sur l'élimination finale de la matière serait obtenue de l'installation de destruction et cette activité relève de la province. En ce qui concerne le transport à l'extérieur du Canada en vue de la destruction, l'autorité en la matière, comme il a été dit, est la Direction des mouvements transfrontières d'Environnement Canada. En outre, un permis d'exporter est exigé. Environnement Canada est chargé d'entrer en contact avec les services homologues à l'étranger (p. ex. USEPA, aux États-Unis) pour s'assurer qu'il existe une destination finale et acceptable pour les déchets, et le Ministère insistera pour recevoir un certificat d'élimination afin de s'assurer que les matières sont parvenues à destination et qu'elles ont été détruites.

3.2 Entreposage, manutention et transport

3.2.1 Survol. — Dans la présente section, il est question des exigences applicables aux CFC et aux halons, au Canada, pour les substances qui ne sont pas considérées comme des déchets dangereux ou qui peuvent déroger aux règlements visant les déchets dangereux, pour les besoins du transport en vue du recyclage, de la régénération ou de l'élimination. En général, les réactions des parties intéressées ont montré que si une SACO est considérée comme un déchet dangereux, les méthodes exigées pour la manutention et les manifestes créeraient un obstacle notable à la collecte et à la destruction des SACO excédentaires au Canada. À moins qu'un mécanisme de dérogation quelconque n'entre en ligne de compte pour permettre aux intéressés d'entreposer et d'expédier les SACO à des installations de collecte, sans avoir à satisfaire aux exigences normalement applicables à la manutention des déchets dangereux (comme c'est le cas en Ontario pour les substances R-11 et R-12, par exemple), un programme de collecte peut ne pas fonctionner dans la pratique.

Comme il a déjà été indiqué, les méthodes de manutention et, en particulier, les manifestes

exigés pour une SACO considérée comme un déchet dangereux sont complexes et ne peuvent pas être traitées en détail dans le cadre du présent guide. Il est conseillé au lecteur de consulter l'annexe A, où il trouvera une liste de contacts dans les administrations provinciales et fédérales dans le but de trouver des renseignements supplémentaires concernant la réglementation et les marches à suivre applicables aux déchets dangereux.

En supposant que la SACO n'est pas un déchet dangereux et qu'elle ne traversera pas de frontière internationale, les méthodes de manutention sont relativement simples. Le règlement principal à prendre en considération est le *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses*, appliqué par Transports Canada. Le tableau 4 énumère les divers règlements et documents s'appliquant davantage à ces questions.

Dans ce contexte, les deux principales catégories de SACO sont :

- les CFC à basse pression liquides à la température ambiante (p. ex. R-11, R-113 et R-123);

- les CFC à haute pression et les halons, qui sont des gaz comprimés à la température ambiante (p. ex. les CFC R-12, R-22, R-114, R-500, R-502 et les halons 1211 et 1301).

Les CFC à basse pression ne sont pas expressément régit par le *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses*. Ces SACO peuvent donc être stockées et manutentionnées dans des barils ordinaires, portant les étiquettes convenables, conformément aux pratiques commerciales normales (c'est-à-dire semblables aux contenants et aux méthodes d'étiquetage utilisés pour l'achat de produit vierge ou recyclé). Ils peuvent être transportés au Canada sans avoir besoin de manifeste précis, bien que la tenue ordinaire de registres soit exigée en vertu des règlements provinciaux et fédéraux. Le lecteur devrait également être au courant des recommandations sur les méthodes de manutention des SACO, les mentions obligatoires, la formation du personnel, etc. exposées dans le *Code de pratiques environnementales pour l'élimination des rejets dans l'atmosphère de fluorocarbures provenant des systèmes de réfrigération et de conditionnement d'air* et dans le *Code d'usages environnementaux sur les halons*, que l'on peut se procurer auprès d'Environnement Canada (Environnement Canada, 1996; 1997).

En vertu du *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses*, les CFC à haute pression et les halons sont considérés comme des « marchandises dangereuses ». Plus précisément, ils sont considérés comme faisant partie de la classe 2.2 des gaz comprimés (ininflammables, non toxiques) ou des gaz comprimés de classe 6.1 (ininflammables, toxiques; p. ex. le chloroforme). Presque toutes les SACO actuellement utilisées sont des gaz comprimés de la classe 2.2; l'annexe II du règlement susmentionné devrait être consultée afin de vérifier le classement des composés particuliers. La discussion qui suit porte principalement sur l'entreposage, la manutention et le transport des gaz comprimés de la classe 2.2. Les parties intéressées ayant affaire, dans des cas précis, à des gaz comprimés toxiques (c'est-à-dire des gaz de la classe 6.1) devraient connaître l'existence d'exigences considérablement plus rigoureuses pour ces substances.

3.2.2 ***Récipients.*** — Le *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses* assujettit à des exigences précises les bouteilles approuvées qui peuvent servir à contenir des SACO pour les besoins de l'étiquetage et de la formation du personnel qui manutentionnera ces matières. Avant 1992, les bouteilles de gaz comprimés étaient considérées comme acceptables si elles étaient approuvées en application des règlements de la Commission canadienne des transports ou du ministère des Transports des États-Unis. Après 1992, ces bouteilles ont dû être approuvées par Transports Canada. Les bouteilles à utiliser pour contenir, entreposer et transporter les CFC et les halons, qui sont des gaz comprimés, doivent donc être

approuvées par Transports Canada, à la pression nominale convenable.

Pour la plupart des CFC, la pression nominale est typiquement de 260 à 400 livres par pouce carré (lb/po^2). Dans le cas du R-13, les bouteilles doivent être approuvées par Transports Canada pour une utilisation à 1 800 lb/po^2 (le R-13 est un frigorigène relativement rare utilisé pour la réfrigération à très basse température dans des applications particulières).

Tableau 4. — Règlements et documents pertinents à la manutention des substances excédentaires qui appauvrissent la couche d'ozone

Règlement ou document	**Référence**
Bouteilles et tubes pour le transport des marchandises dangereuses	Norme nationale du Canada CAN/CSA-B339-88
Codes de pratiques environnementales pour l'élimination des rejets dans l'atmosphère de fluorocarbures provenant des systèmes de réfrigération et de conditionnement d'air	Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada, rapport SPE 1/RA/2, mars 1996.
Codes d'usages environnementaux sur les halons	Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada, rapport SPE 1/RA/3, juillet 1996.
Règlement sur l'exportation et l'importation des déchets dangereux	Environnement Canada, Direction des mouvements transfrontières, DORS/92-637, le 12 novembre 1992. www.ec.gc.ca/tmd/regs.htm
Règlement fédéral sur les halocarbures SOR/DORS 99-255, le 17 juin 1999	Environnement Canada. www.ec.gc.ca/ozone
Règlement sur les substances appauvrissant la couche d'ozone (1998) SOR/DORS 99-7, le 16 décembre 1998	Environnement Canada. www.ec.gc.ca/ozone
Emballages prescrits pour le transport des marchandises dangereuses	Norme provisoire de l'Office des normes générales du Canada 43-GP-152MP. (V. partie V du *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses*.)
Règlement sur le transport des marchandises dangereuses	Transports Canada, 1999. www.tc.gc.ca/Actsregs/TDG/english/part-i.html

Plus précisément, les bouteilles dont l'emploi est autorisé pour la collecte, l'entreposage et le transport des SACO au Canada doivent:

a) être conformes à la Norme nationale du Canada CAN/CSA-B339-88, *Bouteilles et tubes pour le transport des marchandises dangereuses*, datée de février 1988 et modifiée en janvier 1992 et en février 1993;

b) être des bouteilles dont la date du premier essai a été le 31 décembre 1992 ou une date antérieure.

Les bouteilles renfermant des CFC vierges doivent être éprouvées et certifiées de nouveau tous les douze ans. Les CFC usagés peuvent être très corrosifs, toutefois, et les bouteilles en renfermant doivent être éprouvées et certifiées de nouveau tous les cinq ans. Le point capital, pour les Canadiens, est que les bouteilles déjà remplies de CFC peuvent être expédiées vers une installation de recyclage capable de les vider de leurs gaz et de les certifier de nouveau, même si la limite de cinq ans est passée (dans le cas d'un produit usé) ou celle de douze ans (dans le cas d'une matière vierge). Cependant, les bouteilles périmées ne peuvent pas être remplies de nouveau quand elles sont vides.

En 1994, DuPont du Canada a entrepris un programme de récupération, couronné de succès, d'une fraction importante des quantités existantes de CFC qui avaient antérieurement été vendues. Plusieurs bouteilles ont été approuvées et mises à la disposition des

intéressés à cette fin et un grand nombre de ces bouteilles sont encore utilisées. Techniquement, il faut obtenir l'autorisation du propriétaire d'origine de la bouteille pour l'utiliser pour la collecte et l'entreposage ou le transport des CFC. Cependant, pour régler tout problème de responsabilité, DuPont a décrété le rappel de toutes ses bouteilles et, de ce fait, il relève désormais des entreprises possédant ces bouteilles de voir à leur entretien et à leur « recertification ».

De plus, la partie V du *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses* apporte diverses normes nationales, notamment la norme provisoire 43-GP-152MP de l'ONGC, *Emballages prescrits pour le transport des marchandises dangereuses*, s'appliquant aux emballages et aux contenants utilisés pour le transport des marchandises dangereuses telles que les gaz comprimés. D'autres précisions peuvent être trouvées sur les normes applicables aux contenants utilisés pour les gaz de la classe 2 à l'article 7.32 du *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses*. L'annexe IX du même règlement énumère une liste de normes applicables aux emballages et contenants de marchandises dangereuses. L'annexe VIII, du même règlement, décrit des normes précises pour l'emballage intérieur et extérieur des gaz comprimés de classe 2.2 et les CFC en particulier.

3.2.3 Exigences relatives à la documentation, à l'étiquetage, à la manutention et à la formation du personnel. — À noter que, en général, plusieurs dispositions du *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses* applicables aux gaz toxiques s'appliquent aussi aux gaz corrosifs tels que les SACO usées.

La documentation spécifique exigée pour les envois de SACO qui sont des gaz comprimés, conformément au *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses*, varie selon que l'expédition traverse ou non des limites interprovinciales ou des frontières internationales. La section convenable décrivant la documentation exigée peut être retrouvée à la partie IV du règlement (voir notamment le paragraphe 4.4, « Marchandises dangereuses autres que des déchets »).

Pour les SACO qui sont des gaz comprimés, les exigences concernant les indications de danger, les étiquettes et les numéros d'identification des produits (NIP) sont décrites à la partie V et à l'annexe V du règlement susmentionné, notamment les articles applicables aux marchandises dangereuses en général et aux gaz corrosifs. Consultez également la norme provisoire 43-GP-152MP de l'ONGC, *Emballages prescrits pour le transport des marchandises dangereuses* dont il a été question dans la présente partie.

Les descriptions détaillées des méthodes de manutention applicables aux gaz comprimés de la classe 2.2 peuvent être trouvées aux parties VII et VIII du même règlement, lesquelles portent sur les points suivants :

- la notification;
- la planification d'aide en cas d'urgence;
- la préparation du moyen de confinement;
- la réutilisation des barils;
- la perte, l'émission ou la fuite de marchandises dangereuses en provenance de colis ou de petits contenants;
- la manutention, comprenant le chargement;
- les normes applicables aux contenants.

Les exigences concernant la formation du personnel manutentionnant des marchandises dangereuses se trouvent à la partie IX du règlement, qui discute aussi des mentions obligatoires en cas de rejets accidentels. Le tableau 1 à la partie IX du règlement indique qu'il faut signaler immédiatement tout rejet accidentel de gaz comprimés de classe 2.2 uniquement si au moins 100 L se sont échappés.

Recommandations

La majorité de l'information présentée dans ce guide avait pour intention de donner une compréhension de base aux individus intéressés dans l'élimination des SACO et d'assister les autorités réglementaires dans la revue et l'approbation des installations proposées pour la destruction des SACO.

Toutes les technologies d'élimination des SACO examinées pour les besoins du présent document ont satisfait aux critères minimaux de rendement fixés par Environnement Canada pour l'évaluation de diverses technologies. Sur les 42 technologies examinées, 26 n'ont pas pu se rendre à l'évaluation finale parce qu'elles ne seraient pas offertes sur le marché avant 2003. Cependant, ces technologies devraient être réévaluées et elles peuvent, à un moment donné, offrir des solutions viables de rechange aux 16 technologies décrites dans ce document.

Les critères suivants sont recommandés pour l'évaluation des installations d'élimination des SACO.

Efficacité de la destruction. — Les installations de destruction devraient atteindre au moins une efficacité de destruction de 99,999 9 % à l'égard des SACO. Ce niveau est déjà réglementé dans plusieurs provinces.

Formation de dioxines ou de furannes. — Le standard pancanadien proposé relatif aux émissions des cheminées de dioxines et furannes pendant la destruction des SACO est de 0,08 ng/m^3 en équivalent toxique (EqT). Considérant qu'il n'est pas officiel au moment de la publication du présent document, il est recommandé que ce niveau soit utilisé pour l'évaluation des installations de destruction.

Particules. Les installations de destruction doivent atteindre une émission maximale de particules fixée à 10 mg/m^3. Ce niveau est actuellement proposé comme ajout au Règlement sur les déchets dangereux dans les installations fédérales.

Autres facteurs. — L'installation de destruction doit posséder des plans pour éliminer toute matière résiduaire produite par la destruction des SACO. L'installation doit aussi se conformer aux plus rigoureuses des normes provinciales ou des normes fédérales sur le stockage, la manutention, le transport et les méthodes d'élimination des SACO.

Références

BVG (Bureau du vérificateur général du Canada), 1997, *Chapitre 27, Protection de la couche d'ozone : le parcours inachevé*, rapport du Vérificateur général du Canada pour 1997, Bureau du vérificateur général du Canada et du commissaire à l'environnement et au développement durable, décembre 1997.

Gazette du Canada, 2000, *Règlement modifiant le Règlement sur les substances appauvrissant la couche d'ozone* (1998), *Gazette du Canada*, partie II, vol. 135, n° 1 (DORS/2001-2), 13 décembre 2000.

———, 1995, *Règlement sur les substances appauvrissant la couche d'ozone*, *Gazette du Canada*, partie II, vol. 129, n° 26 (DORS/95-576), 7 décembre 1995.

Cantox Environmental Inc., 2000, *Guidance Document on Disposal Technologies for Ozone-depleting Substances (ODS) in Canada*, projet K2617-9-0037 pour Environnement Canada, Direction générale pour l'avancement des technologies environnementales, Hull (Québec), 31 mars 2000.

CCME (Conseil canadien des ministres de l'environnement), 2001, *Stratégie canadienne pour accélérer l'élimination progressive des utilisations de CFC et de halons et pour éliminer les stocks excédentaires*, CCME PN1317, (ISBN 1-896997-13-9), mai 2001, Conseil canadien des ministres de l'environnement, Winnipeg, Manitoba.

———, 1998, *Plan d'action national pour le contrôle environnemental des substances appauvrissant la couche d'ozone et de leurs halocarbures de remplacement*, préparé par le Groupe de travail fédéral-provincial chargé de l'harmonisation des mesures de contrôle – SACO (appelé par la suite Groupe de travail fédéral-provincial sur les substances appauvrissant la couche d'ozone et leurs halocarbures de remplacement), CCME PN 1291, janvier 1998, Conseil canadien des ministres de l'environnement, Winnipeg, Manitoba. www.ec.gc.ca/ozone/nap-pan/nap_f.htm

———, 2000, *Standards pancanadiens relatifs aux dioxines et aux furannes*, accepté le 6 juin 2000, approuvé le 1er mai 2001, Conseil canadien des ministres de l'environnement, Winnipeg, Manitoba. www.ccme.ca (voir « Priorités du CCME »)

Environnement Canada, 2000, *Stratégie proposée par le Canada pour hâter l'arrêt de l'utilisation des CFC et des halons et pour éliminer les surplus*, Groupe de travail fédéral-provincial chargé de l'harmonisation des mesures de contrôle – SACO (appelé par la suite Groupe de travail fédéral-provincial sur les substances appauvrissant la couche d'ozone et leurs halocarbures de remplacement), 14 janvier 2000, Environnement Canada, Hull (Québec). www.ec.gc.ca/ozone/tocnews.htm

———, 1998, *Options for the Management of Surplus Ozone-depleting Substances in Canada*, préparé par Shapiro & Associates (projet K2218-7-0027), 11 juin 1998, Environnement Canada, Hull (Québec).

———, 1997, *Code d'usages environnementaux sur les halons*, rapport SPE 1/RA/3, Environnement Canada, Direction de l'évaluation des produits chimiques commerciaux, Section des programmes de protection de l'ozone, Hull (Québec). www.ec.gc.ca/ozone/firecode.htm

———, 1996, *Code de pratiques environnementales pour l'élimination des rejets dans l'atmosphère de fluorocarbures provenant des systèmes de réfrigération et de conditionnement d'air*, rapport SPE 1/RA/2, mars 1996, Environnement Canada, Service de la protection de l'environnement, Hull (Québec).

———, 1992, *Règlement sur l'exportation et l'importation des déchets dangereux*, DORS/92-637, 12 novembre 1992, Environnement Canada, Direction des mouvements transfrontières, Hull (Québec). *www.ec.gc.ca/tmd/regs.htm*

OTAN (Organisation du traité de l'Atlantique-Nord), 1988, *Scientific Basis for the Development of International Toxicity Equivalency Factor (I-TEF), Method of Risk Assessment for Risk Assessment of Complex Mixtures of Dioxins and Related Compounds*, rapport 176, Organisation du traité de l'Atlantique-Nord, Comité sur les défis de la société moderne, Washington (DC).

PNUE (Programme des Nations unies pour l'environnement), 1997, *Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone : Groupe de l'évaluation technique et économique*, vol. 1, Programme des Nations unies pour l'environnement, 1997.

———, 1995, *1995 ODS Disposal Technology Update*, rapport du Groupe de l'évaluation technique et économique, sous-comité de l'élimination des substances appauvrissant la couche d'ozone, atelier tenu à Montréal (Canada), les 2 et 3 mai 1995, juin 1995.

———, 1992., *Report of the Ad Hoc Technical Advisory Committee on ODS Destruction Technologies*, Programme des Nations unies pour l'environnement, mai 1992.

United States Clean Air Act, 1990, Clean Air Act Amendments. Pub. L. 101-549, 104, Stat. 2399, 15 novembre 1990.

Van den Berg, M., L. Birnbaum, B.T.C. Bowveld, B. Brunstrom, P. Cook, M. Feeley, J.P. Giesty, A. Hanberg, R. Hasegawa, S.W. Kennedy, T. Kubiak, J.C. Carsen, F.X.R. van Leeuwen, A.K.D. Liem, C. Nolt, R.E. Peterson, L. Poellinger, S. Safe, D. Schrenk, D. Tillitt, M. Tysklind, M. Younes, F. Waern et T. Zacharewski, 1998, « Toxic Equivalency Factors (TEFs) for PCBs, PCDDs, PCDFs, for Humans and Wildlife », *Environ. Health Perspect., 106*:775–792, 1998.

Annexe A

Membres du Groupe de travail sur les déchets dangereux

Nom	Téléphone	Télécopieur	Courriel
Betty Smith (présidente) Ontario	(416) 314-7917	(416) 314-9411	smithbe@ene.gov.on.ca
Rob Dalrymple Colombie-Britannique	(250) 356-9973	(250) 953-3856	rdalrymp@epdiv2.env.gov.bc.ca
Brent Baxter Nouvelle-Écosse	(902) 424-2534	(902) 424-0503	baxterbk@gov.ns.ca
Simone Godin Nouveau-Brunswick	(506) 453-3855	(506) 453-2390	simoneg@gov.nb.ca
Toby Matthews Terre-Neuve	(709) 729-5793	(709) 729-6969	matthews@env.gov.nf.ca
Glenda MacKinnon-Peters Île-du-Prince-Édouard	(902) 368-5047	(902) 368-5830	gcmackinnon-peters@gov.pe.ca
Benoît Nadeau Québec	(418) 521-3950 poste 4955	(418) 644 3386	benoit.nadeau@mef.gouv.qc.ca
Joe Wittwer Canada	(819) 953-2171	(819) 997-3068	joe.wittwer@ec.gc.ca
Don Labossière Manitoba	(204) 945-7094	(204) 948-2420	dlabossier@env.gov.mb.ca
Tony Fernandes Alberta	(780) 427-0636	(780) 422-4192	antonio.fernandes@gov.ab.ca
Roger Hodges Saskatchewan	(306) 787-9301	(306) 787-0197	roger.hodges.erm@govmail.gov.sk.ca
Bryan Levia Yukon	(867) 667-3436	(867) 393-6205	bryan.levia@gov.yk.ca
Ken Hall Territoires du Nord-Ouest	(867) 920-6476	(867) 873-0221	Ken_Hall@gov.nt.ca
Robert Eno Nunavut	(867) 975-5907	(867) 975-5982	reno@gov.nu.ca
Diane Kunec CCME	(204) 948-2757	(204) 948-2125	dkunec@ccme.ca

Annexe B

Description des technologies d'élimination des substances appauvrissant la couche d'ozone qui sont offertes sur le marché

La présente annexe décrit les technologies **offertes sur le marché** qui ont satisfait aux critères de la présélection, c'est-à-dire les technologies qui ont satisfait aux exigences obligatoires de performance technique, des émissions dans l'environnement et d'accessibilité sur le marché. Ces technologies d'élimination sont décrites en fonction du type de procédé et de ses caractéristiques. Les descriptions des procédés sont accompagnées d'une discussion sur l'historique de la technologie, d'une évaluation de son accessibilité commerciale et de l'information la plus récente sur les coûts.

NOTA : Sauf indication contraire, tous les montants sont exprimés en dollars canadiens de 2000.

B-1 Technologies des plasmas (n'employant pas l'incinération)

Le plasma, souvent décrit comme le quatrième état de la matière, est un mélange d'électrons, d'ions et de particules neutres à des températures de 5 000 à 20 000 kelvins (K). Ce gaz de haute température, ionisé, conducteur, est créé par l'interaction d'un gaz avec un arc électrique ou un champ magnétique. Les plasmas thermiques sont la source d'espèces réactionnelles à haute température qui favorisent des réactions cinétiques.

L'ionisation des gaz n'est pas un processus de combustion. C'est un processus de transformation directe de l'énergie électrique en énergie thermique, à hautes températures. En appliquant la chaleur de réaction à la technologie des plasmas, la maîtrise indépendante de la chaleur et du milieu chimique est rendue possible. Par exemple, il est possible de porter un gaz réducteur à une température élevée sans utiliser l'oxygène ou d'obtenir un milieu oxydant sans l'introduction de combustible. Les plasmas thermiques peuvent être engendrés en faisant traverser un courant électrique au travers d'un gaz entre des électrodes, en produisant des radiofréquences (RF) ou une décharge de courant alternatif sans électrode ou par des micro-ondes.

Le choix de l'emploi d'une torche à plasma à courant continu (CC) se fonde sur son accessibilité sur le marché à une puissance pouvant atteindre 2 mégawatts (MW) et à des efficacités énergétiques relativement élevées. L'efficacité du transformateur et du redresseur, pris ensemble, est généralement de 95 à 98 %, tandis que le transfert de l'énergie électrique à l'énergie thermique se situe normalement dans la gamme de 65 à 85 %. Comme les pertes sont généralement dues à la nécessité de refroidir la torche à l'eau, les efficacités supérieures sont atteintes à des débits de gaz élevés et à des niveaux de puissance élevés. Avec une torche à plasma à courant continu, des gaz à plasma tels que l'argon, l'azote, l'air et un mélange d'argon et d'hydrogène peuvent être utilisés, et le volume de plasma est relativement faible avec une densité énergétique élevée.

Les torches à plasma inductif servent dans les applications des radiofréquences et l'énergie est couplé au plasma au moyen du champ électromagnétique de la bobine d'induction. L'absence d'électrodes permet de fonctionner avec une large gamme de gaz, comprenant des atmosphères inertes, réductrices ou oxydantes. En effet, la capacité d'utiliser de la vapeur seule, comme gaz, offre des économies par rapport à la torche à plasma à courant alternatif, qui, généralement, exige un gaz inerte tel que l'argon. Ce type de décharge produit un plasma relativement volumineux. Ces plasmas sont communs à des puissances pouvant atteindre 100 kW et l'extrapolation jusqu'à 1 MW a été démontrée. Le transfert du courant alternatif de ligne au courant alternatif à haute fréquence est efficace à environ 95 %. Des efficacités de 65 % à 75 % de couplage

du courant alternatif dans la bobine à la boule de feu de plasma ont été rapportées à l'aide de blocs d'alimentation d'oscillateurs à tubes, et jusqu'à 90% avec des blocs d'alimentation transistorisés. Cependant, selon un spécialiste, des efficacités pouvant atteindre 50 % seraient plus probables dans les unités du commerce.

Plus récemment, des plasmas à courant alternatif, produits à partir d'une puissance triphasée de 480 V, à 60 Hz, augmentée par un survolteur, ont été signalés. Fait significatif, il n'y a aucun besoin de courant alternatif à haute fréquence comme dans le plasma radiofréquence. L'équipement exigé pour produire ces plasmas est beaucoup moins encombrant et beaucoup moins coûteux que celui nécessaire pour produire les plasmas radiofréquence. L'efficacité électrique des plasmas à courant continu est supérieure à celle de ces derniers parce qu'il n'y a aucun besoin de rectification et parce que la conversion de l'énergie électrique en énergie thermique est efficace de 85 % à 90 %. Le plasma à courant alternatif produit est également volumineux, comparativement au plasma radiofréquence. Cette technologie a été perfectionnée en Russie puis affinée par Scientific Utilization International, de Huntsville (Alabama), au cours des sept dernières années. Cette technologie a fait l'objet de très peu de publications.

Au cours de la dernière décennie, la technologie novatrice des plasmas a évolué pour devenir l'une des plus prometteuses pour la destruction thermique des déchets dangereux. L'intérêt actuel visant l'application des plasmas pour la destruction des déchets dangereux est relié à l'accessibilité de torches à plasma à courant continu et à plasma radiofréquence dans l'intervalle de puissances de 0,3 à 1,0 MW. L'utilisation la plus notable de cette technologie pour l'élimination des SACO est dans le programme australien de destruction des halons et des CFC, dont il sera question dans la section B-1.1.

B-1.1 Plasma-arc d'argon. — Le procédé PLASCON, à plasma-arc d'argon, a été mis au point en Australie par SRL Plasma Ltd., conjointement avec la Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) [Organisation australienne pour la recherche scientifique et industrielle]. Ce procédé a été mis au point sur une période de huit années et la commercialisation a eu lieu en 1992. Après de longues études pilotes sur divers CFC et halons en 1993, le système PLASCON a été mis à la disposition du Department of Administrative Services Centre for Environmental Management (DASCEM) [Centre de gestion de l'environnement du ministère des Services administratifs], pour la destruction des halons et des CFC excédentaires d'Australie. Depuis la mise en service de l'usine, en 1996, 1 000 t de halon 1011 et 100 t de CFC ont été détruites au rythme de 115 à 120 kg/h. Les avantages déterminants du procédé sont la très grande efficacité de la destruction et les émissions négligeables de dioxines et de furannes prouvées sur un système industriel. Les coûts signalés sont de l'ordre de 2,75 $/kg.

Le procédé PLASCON est un procédé à plasma « en vol », ce qui signifie que le déchet se mélange directement avec la colonne de plasma d'argon. L'argon a été choisi en raison de son inertie et parce qu'il ne réagit pas avec les éléments de la torche. Le déchet est rapidement (en une milliseconde) porté à environ 3 000 °C dans la chambre de réaction (tube de vol), où la pyrolyse s'effectue en approximativement 20 ms. L'oxygène est ajouté par la buse d'injection, pour assurer la conversion en monoxyde de carbone de tout le carbone formé au cours de la pyrolyse. Celle-ci est suivie d'un refroidissement rapide (2 ms) en milieu alcalin, de 1 500 à moins de 100 °C pour prévenir la formation de dioxines et de furannes. Le gaz refroidi est ensuite lavé au moyen d'une liqueur alcaline, dans une colonne garnie, à contre-courant, afin de neutraliser le HCl et les autres gaz acides. Le gaz sortant de la colonne, qui est principalement constitué de CO, d'H_2, d'Ar et d'un peu de CO_2, traverse ensuite une petite torche au sol qui transforme le CO en CO_2 et le H_2 en H_2O.

Un taux de destruction de 99,999 9 % a été atteint à un taux de destruction de 150 kg/h. Les facteurs en marche productive se situaient à environ 80 % de leur capacité, en raison de problèmes éprouvés dans le tube de vol et la buse d'injection; problèmes causés par les conditions d'opération à très haute température. La

solution d'halogénures produite par le procédé d'épuration est entreposée et rejetée, les fins de semaine, dans le réseau de traitement des eaux usées urbaines de Melbourne, alors que l'industrie ralentit son activité.

B-1.2 Plasma radiofréquence inductif (PRFI). — En 1994, plusieurs chercheurs japonais du gouvernement, des universités et de l'industrie ont collaboré à des expériences qui ont montré qu'un réacteur pilote à PRFI avait détruit le CFC-12 et le halon 1301. D'après ces résultats provenant d'une usine pilote, un consortium industriel, formé sous les auspices du ministère du Commerce international et de l'industrie (MCII), a construit une usine de démonstration dans la préfecture de Chiba. L'usine a fonctionné d'avril 1993 à mars 1996. Au bout de cette période, 2,443 t de CFC-12 avaient été détruites. Un avantage majeur du plasma radiofréquence comparativement au plasma à courant continu est la suppression des électrodes; dans les plasmas à courant continu, les électrodes sont soumises à la corrosion. Dans le plasma radiofréquence, le débit gazeux est plus lent et la flamme à plasma est plus grande, ce qui prolonge les durées de séjour. Ce processus a prouvé sa très grande efficacité de destruction et son taux très faible d'émission de PCDD et de PCDF à une échelle approchant l'échelle commerciale. Il se peut également que l'approche utilisant les radiofréquences mène à une durée de marche productive plus longue que celle observée avec le procédé PLASCON, décrit à la section précédente. Les coûts de fonctionnement d'une unité commerciale ne sont pas rapportés, mais sont estimés à des coûts quelque peu inférieurs à ceux signalés pour le procédé PLASCON puisque l'argon n'est pas requis; ils devraient être de l'ordre de 2,50 $/kg.

Dans la torche de 185 kW, le plasma a atteint des températures de 10 000 °C et des taux de destruction d'au moins 99,99 % à un débit d'alimentation d'environ 50 kg/h ont été démontrés. L'équipement de l'usine de démonstration est essentiellement le même que celui qui a servi dans l'usine pilote, sauf en ce qui concerne l'alimentation en électricité, qui était de 132 kW (2,4 MHz, 8,8 kV, 15,0 A). Les CFC gazeux et la vapeur alimentent la torche de plasma, d'où, chauffés, ils entrent directement dans le réacteur de destruction maintenu à environ 2 000 °C pendant approximativement 2 s. Les gaz sont par la suite refroidis et lavés à l'aide d'une solution caustique, pour les débarrasser des gaz acides. Les essais relatifs aux émissions toxiques en traces pendant la démonstration ont permis de mesurer 0,01 ng de PCDD totaux/m^3 et 0,01 à 0,02 ng d'EqT de PCDF totaux/m^3.

B-1.3 Plasma à courant alternatif (CA). — L'entreprise Scientific Utilization International (SUI) conçoit des systèmes dans lesquels leur plasma à courant alternatif Plasmatron, breveté pour la destruction des déchets dangereux, est intégré. La mise au point de ces plasmas n'a atteint que dernièrement l'étape où leur application est destinée à la destruction des déchets dangereux ou toxiques. Le plasma à courant alternatif n'a pas encore trouvé d'application commerciale à la destruction des SACO, mais, dans une unité de démonstration de 500 kW, les CFC ont été détruits jusqu'à des concentrations indécelables. En février 2000, un système de 1 MW destiné à la destruction des narcotiques a été expédié au Service des douanes des États-Unis en Californie. La technologie satisfait aux exigences environnementales de l'USEPA et de l'EPA de la Californie. SUI est prêt à offrir des systèmes Plasmatron conçus pour la destruction des SACO. Aucun renseignement relatif aux coûts n'a été divulgué, mais les coûts de la destruction sont estimés inférieurs à ceux du procédé PLASCON (c'est-à-dire 2,50 $/kg), en raison de la plus grande fiabilité du système et de sa capacité d'utiliser l'air comme gaz de travail.

Comme il en a été question, le plasma à courant alternatif est produit directement au moyen d'une alimentation à haute tension de 60 Hz, mais, sous d'autres rapports, il est semblable au PRFI. Le système est électriquement et mécaniquement simple et, par conséquent, passe pour être très fiable. En outre, le procédé Plasmatron peut tolérer une grande variété de gaz de travail, comprenant l'air, et il peut également tolérer les gaz huileux. Alors que certains renseignements descriptifs sur le générateur de plasma et sur l'équipement connexe sont offerts, aucune information décrivant le procédé de destruction n'était disponible, mais il est probablement semblable au procédé PLASCON.

B-2 Autres technologies n'employant pas l'incinération

B-2.1 Électrons solvatés. — Au début des années 1990, Commodore Advanced Sciences, Inc., d'Albuquerque (Nouveau-Mexique) a mis au point un procédé de destruction des SACO basé sur des solutions d'électrons solvatés formées par dissolution de sodium métallique dans l'ammoniaque. En 1995, un brevet américain était accordé au procédé. Ce dernier, bien qu'il ait été précisément mis au point pour la destruction des SACO, n'a jamais été appliqué, commercialement, faute de demande. Le procédé a été appliqué avec succès lors de la destruction des BPC et est présentement utilisé pour la destruction des agents de guerre chimique. Un avantage considérable du procédé est sa simplicité. Un défaut est l'absence de démonstration de la destruction des SACO à l'échelle commerciale; cependant, l'efficacité du procédé à cet égard n'est pas remise en cause. La manutention du sodium métallique présente des problèmes de sécurité. Elle exigera un examen approfondi des méthodes d'exploitation. Enfin, les coûts d'exploitation dépendent fortement du coût du sodium métallique.

Le procédé fonctionne en discontinu, à la pression atmosphérique, dans deux récipients simples : un réacteur chauffé et une enceinte réfrigérée de recyclage de l'ammoniaque. Les SACO sont décomposées dans le réacteur en présence d'ammoniaque liquide et du sodium métallique. Le procédé ne devrait pas engendrer de dioxines et de furannes puisqu'il ne fait pas appel à l'oxydation et fonctionne à températures relativement basses. La décomposition des SACO d'origine ne s'accompagne d'aucune émission atmosphérique. Il ne se forme que des matières résiduaires non toxiques, telles que le chlorure de sodium, le fluorure de sodium, des composés organiques biodégradables et de l'eau. Le méthane et l'éthane sont également produits sous forme de dérivés. Le procédé consomme le sodium métallique et celui-ci représente le composé majeur en terme de coûts d'opération. De 95 à 98 % de l'ammoniaque est recyclée et ne contribue pas beaucoup aux coûts d'exploitation. La démonstration du procédé à l'échelle pilote a été effectuée relativement à la destruction du tétrachlorure de carbone, de plusieurs CFC, HFC, de mélanges de frigorigènes et de halons à un taux d'efficacité supérieur à 99,99 %. Les coûts allégués à la destruction se situeraient dans la fourchette de 9,00 à 13,75 $/kg de CFC (pour les besoins du classement, la moyenne approximative de 11,00 $ a été utilisée).

B-2.2 Photolyse (aux) UV. — Process Technologies, Inc. (PTI), de Boise (Idaho) a mis au point et a fait breveter un procédé de destruction des composés chlorés, comprenant les SACO, faisant appel à la photodissociation aux UV. Le procédé n'a jamais été commercialisé pour la destruction des SACO, faute de demande. Le procédé PTI comporte plusieurs avantages, notamment qu'il représente un procédé non thermique atteignant de grandes efficacités de destruction sans formation de dioxines et de furannes, que son revêtement prévient la formation de HF et de HCl dans l'échappement et que le procédé est simple et de conception modulaire. Les coûts seraient d'environ 11 $/kg de SACO. Il n'a pas été possible d'obtenir d'autres renseignements de PTI; la technologie peut ne plus être promotionné de façon dynamique.

La photolyse UV comporte le mélange des SACO à l'état gazeux avec de l'air et conduit le mélange dans un réacteur équipé de lampes ultraviolettes de mercure à basse pression émettant dans la fourchette de longueurs d'ondes de 185 à 254 nm. Les photons émis de ces lampes sont capables de dissocier les liens chimiques de molécules de SACO, formant ainsi des radicaux libres. PTI appose un revêtement réactif poreux et sec sur la face interne du réacteur, qui réagit chimiquement avec les radicaux libres produits lors de la destruction photochimique des molécules SACO. La réaction forme des produits stables, inorganiques et solides à l'intérieur du revêtement. Les seuls autres dérivés de la destruction photochimique des SACO sont le CO_2, la vapeur d'eau et l'air. Des essais en laboratoire et en unité pilote ont montré, à l'aide d'un débit d'alimentation de 11,4 kg de Halon 1211 par jour, un taux de destruction de 99,66 %. Les résultats expérimentaux obtenus avec d'autres SACO ont montré que le taux de destruction était supérieur à 99,9 %. La croyance était que l'équipement industriel optimisé parviendrait à un taux supérieur à 99,99 % de destruction. La formation de dioxines et de furannes n'est pas attendue en raison de la basse température à laquelle le procédé est sujet. Le revêtement est un mélange, exclusif à PTI, d'oxyde de calcium, d'hydroxyde de calcium, d'hydroxyde de

magnésium et d'autres ingrédients. Les revêtements épuisés ne sont pas des déchets dangereux au sens de la loi américaine *Resource Conservation and Reclamation Act* (RCRA). Il est donc possible de les éliminer en tant que déchets solides ordinaires ou de les recycler en tant qu'ingrédients du ciment.

B-2.3 Réduction chimique en phase gazeuse. — Eli Eco Logic International Inc. (ECO LOGIC), de Rockwood (Ontario) a mis au point et commercialisé son procédé ECO LOGIC de réduction chimique en phase gazeuse. En 1986, un brevet pour cette technologie fondamentale a été demandé. Le procédé, qui n'emploie pas l'incinération, convient à la destruction des déchets organiques dans toutes les matrices, comprenant le sol, les sédiments, les boues, les huiles concentrées, les déchets aqueux et les solides volumineux tels que l'équipement électrique. ECO LOGIC a permis de détruire des déchets renfermant des PBC et du DDT à l'échelle commerciale et possède des données considérables de laboratoire et de terrain relativement à de nombreux autres déchets dangereux, notamment les agents de guerre chimique. L'entreprise fournit des systèmes fixes et, aussi, un service de traitement à l'aide de systèmes mobiles. Le principal avantage du procédé est sa grande efficacité de destruction. La mobilité du traitement peut aussi se révéler avantageuse. Le principal inconvénient est le manque d'expérience global dans la destruction des SACO, bien que le procédé ait été éprouvé sur les BPC. Les renseignements précis sur les coûts ne sont pas offerts, mais il faut s'attendre à ce qu'ils soient assez élevés. Pour les besoins du classement, la valeur élevée par défaut de 10 $/kg a été utilisée à des fins approximatives.

Le liquide ou le gaz est préchauffé avec de la vapeur vive avant d'être injecté par atomisation, au moyen de buses, dans le réacteur. Le mélange gazeux ainsi atomisé tourbillonne autour d'un tube d'acier inoxydable central et est chauffé par des tubes radiants verticaux renfermant des éléments électriques qui en portent la température à environ 850 °C. Les réactions ont lieu à partir du bas du tube central et se déroulent en moins d'une seconde. Les composés organiques sont finalement réduits en méthane, en acide chlorhydrique et (supposément) en quantités minimes d'hydrocarbures de faibles poids moléculaires. Les efficacités de destruction et d'élimination des déchets renfermant des BPC et du DDT se sont révélés supérieurs à 99,999 99 % et 99,999 9 %, respectivement. Les dioxines et furannes peuvent se former à la température du processus, et des concentrations de 40 à 80 pg/m^3 ont été rapportées. L'acide chlorhydrique est neutralisé par l'addition de soude caustique au début du refroidissement du gaz issu du processus. Un système étagé de lavage, relié au réacteur, élimine les matières organiques de l'échappement. Un gaz constitué principalement d'hydrogène et de méthane est ainsi obtenu et sert ensuite de combustible pour les parties constituant le système.

B-2.4 Déshalogénation catalytique. — La société Hitachi, de Tokyo, au Japon, a mis au point un procédé de déshalogénation catalytique dont les coûts d'exploitation se chiffrent à 2,85 $ - 4,30 $/kg de CFC. Les coûts d'équipement ont été estimés à 430 000 $ pour un système d'une capacité de 1 kg/h et de 1,43 M$ pour un système d'une capacité de 10 kg/h. Un prospect canadien négocie présentement les droits d'une technologie semblable d'un concédant américain. Ce procédé a été commercialisé pour la destruction des BPC et il a été appliqué à de nombreux autres composés chlorés, sans cependant l'être à la destruction des SACO. Des essais en laboratoire ont eu lieu et un rapport concernant la destruction des CFC était attendu en mars 2000. La destruction commerciale des BPC a montré une efficacité de destruction de 99,999 8 %. Il est prétendu qu'aucune dioxine ni furanne n'est produite au cours de l'opération. Les coûts de la destruction devraient être du même ordre de grandeur que les chiffres décrits antérieurement. Le principal avantage de la technologie réside dans le coût modique attendu de la destruction découlant principalement des basses températures de fonctionnement, par rapport aux températures des technologies d'incinération. Le procédé est également très efficace pour détruire les CFC et éviter la formation de dioxines et de furannes.

En vertu du procédé, les CFC sont détruits au-dessus d'un catalyseur exclusif, constitué d'un oxyde métallique, porté à 400 °C à la pression atmosphérique. Le HCl et le HF produits sont absorbés dans une solution de chaux. Une efficacité de destruction supérieure à 99,99 % a été atteinte pour le CFC-12. Aucune

donnée sur les dioxines et les furannes n'est disponible, bien que la formation de ces composés doive être minime à ces températures de fonctionnement.

B-2.5 Conversion chimique en phase liquide. — Cette technologie utilisant un système mobile a été mise au point par Ontario Hydro Technologies, pour détruire divers déchets. Deux unités mobiles sont actuellement exploitées pour la destruction des BPC. Bien que la destruction commerciale des SACO ne soit pas accessible par ce procédé, Ontario Hydro a précisé que des modifications pourraient être apportées à l'équipement, que des essais pourraient avoir lieu et que l'autorisation réglementaire pourrait être accordée dans un délai relativement court (3 à 4 mois), si la demande de ce service se matérialisait. Les coûts estimés sont inférieurs à ceux de l'incinération des SACO, basés sur extrapolation de l'expérience avec l'élimination des déchets de BPC.

La technologie utilise un processus de transformation chimique en phase liquide se déroulant entre 80 et 120 °C, où les SACO réagissent avec un mélange d'hydroxyde de potassium et de polyéthylèneglycol. D'après les démonstrations de laboratoire, le taux de destruction est supérieur à 99,7 % dans le cas des CFC et des halons. Le procédé a été éprouvé sur des SACO, en unités pilotes, et il est utilisé commercialement pour les déchets de BPC. Le procédé exigerait de faibles coûts d'équipement et ne produirait presque pas d'émissions. À cette température relativement basse, il ne se dégage ni dioxine ni furanne.

B-2.6 Vitrification. — Ce procédé vient de Pure Chem, Inc., un spécialiste du transformateur des frigorigènes spéciaux possédant de l'expérience dans la transformation des composés halogénés dans une matrice de verre, grâce à la vitrification. Le procédé n'a pas été appliqué aux CFC, mais au tétrachlorure de carbone et atteint un taux de destruction de 99,999 9 %. La vitrification a également été utilisée par le ministère de l'Énergie des États-Unis pour lier des matières radioactives et des métaux lourds. Un coût d'exploitation d'environ 3,80 $/kg et des coûts d'équipement, variables selon la taille de l'installation, de 1,5 à 3,5 M$ sont signalés. Bien que les dérivés du procédé soient incorporés dans le frittage de verre, revendu ensuite, le procédé n'a pas été considéré comme un procédé de transformation chimique qui aurait pour résultat un produit chimique directement commercialisable. Cependant, il est digne de mention que les profits de la vente du frittage de verre peuvent servir à éponger les coûts de la destruction et que le procédé évite les coûts de l'élimination de dérivés tels que les halogénures. Ces facteurs peuvent abaisser sensiblement les coûts globaux de l'élimination, par comparaison avec certaines autres technologies dont les coûts estimés de l'élimination des dérivés n'ont pas été pris en considération.

Le procédé permet de fixer les produits de la dissociation et de l'hydrolyse des SACO dans un frittage de verre chimiquement durable qui est transformable en produit du verre. La première étape comporte la destruction des matières organiques à haute température, typiquement au moyen d'un plasma-arc. Dès que les halogènes sont séparés du carbone et hydrolysés dans le système de traitement du gaz dégagé, le procédé de fabrication du verre débute. Naturellement, le système d'épuration des gaz devrait comprendre une étape de refroidissement rapide pour empêcher la formation notable de dioxines et de furannes. Au four de fusion, un mélange spécialement formulé d'oxyde de calcium et d'oxyde de silice ainsi que d'autres substances chimiques exclusives est ajouté pour entreprendre la formation du verre. Les additifs font en sorte que le frittage de verre puisse être retourné dans le commerce pour une transformation supplémentaire en un produit de verre de haute qualité.

B-3 Technologies d'incinération

Les seules technologies recommandées dans le rapport du PNUE de 1992 pour la destruction des SACO étaient des procédés de thermooxydation (incinération). L'incinération consiste à employer la combustion maîtrisée à la flamme pour détruire les SACO dans un dispositif conçu par un ingénieur. Plusieurs procédés ont été recommandés, cependant, tous ne sont pas appropriés pour toutes les catégories de SACO. Les

technologies sont décrites séparément dans les pages qui suivent, mais tous les procédés d'incinération possèdent un certain nombre de points en commun.

La production de gaz à effet de serre par l'incinération est un point important, digne de mention. Ces gaz sont devenus un sujet scientifique et politique important et préoccupant dans de nombreux pays et il est fortement conseillé de prendre en considération des technologies non axées sur l'incinération pour éliminer les SACO. Cependant, les technologies d'incinération possèdent un avantage général, celui d'être entièrement au point sur le plan commercial et d'être répandues de façon commode géographiquement, ce qui est important à considérer quand il s'agit de trouver des solutions réalistes et opportunes à l'élimination des SACO excédentaires. Tous ces facteurs ont été pris en considération dans le classement des technologies d'élimination des SACO qui étaient offertes sur le marché.

Les procédés de thermooxydation fonctionnent généralement à des températures d'au moins 900 °C, c'est-à-dire à des températures qui détruisent les composés organiques. Des taux d'efficacité de 99,99 % sont facilement atteints dans les unités bien conçues et bien exploitées. Des incinérateurs à haute performance, conçus expressément pour la destruction des composés organiques stables tels que les BPC et les SACO, fonctionnent à des températures sensiblement plus élevées, généralement à 2 100 °C ou plus. Ces incinérateurs à haute performance atteignent généralement un taux de destruction de 99,999 9 %. Les SACO halogénées possèdent un faible pouvoir calorifique. Par conséquent, les températures d'exploitation élevées qui sont exigées ne peuvent être atteintes que par la combustion d'une quantité supplémentaire de combustible tels que le gaz naturel, le fioul ou le propane.

Les principaux produits de la destruction thermique des SACO sont le dioxyde de carbone (CO_2), l'eau (H_2O) et les acides chlorhydrique et fluorhydrique (HCl et HF). Le bromure d'hydrogène (HBr) ou le brome (Br_2), ou les deux, sont produits lors de la destruction des halons. Des produits de la combustion incomplète, tels que le monoxyde de carbone, les hydrocarbures, les acides organiques et les produits partiellement dégradés peuvent aussi se former, mais ces produits de combustion incomplète ne sont émis qu'en petites quantités par les incinérateurs bien conçus qui emploient des températures élevées, des durées de séjour convenables (1 à 2 s), un apport excédentaire d'oxygène et un bon brassage.

Un problème plus sérieux est l'éventuelle formation de PCDD et de PCDF toxiques en quantités traces. Cette formation peut être réduite au minimum dans les incinérateurs bien conçus. Compte tenu que ces composés se forment généralement à des températures de 500 à 900 °C, leur formation est inévitable lors du refroidissement des gaz chauds de combustion des incinérateurs dans le système d'épuration des gaz. Il a également été signalé que l'incinération des halons augmente le risque de formation de dioxine. Ceci serait relié à l'effet récupérateur des radicaux libres du brome. Cependant, l'inclusion d'une opération de refroidissement rapide des gaz à une température très inférieure à celle de la formation des dioxines et des furannes limite habituellement la formation de ces dérivés toxiques à des concentrations acceptables. À noter que la formation et le contrôle des dioxines et des furannes sont indépendants du type d'incinérateur.

Un autre problème technique sérieux est la production des gaz acides déjà mentionnés, qu'il faut éliminer grâce à l'inclusion d'une étape de lavage des gaz. Pour cela, il faut utiliser des filtres électrostatiques, des filtres à manches, des épurateurs Venturi, des laveurs à garnissage ou des laveurs à plateaux. La formation de composés bromés pendant l'incinération des halons entraîne des difficultés particulières. En général, ces substances sont particulièrement difficiles à éliminer; toutefois, plusieurs approches peuvent être adoptées pour réduire au minimum la formation de Br_2, notamment l'introduction de composés soufrés et la réduction au minimum de la période de refroidissement.

La formation d'halogénures suscite aussi des difficultés techniques. Un revêtement et un liant réfractaires résistant au HF doivent être utilisés dans les chambres de combustion jusqu'à la zone de refroidissement. Il

faut généralement du plastique armé de fibre de verre, résistant à la corrosion, dans les systèmes de lavage et la présence de fluorures exige un revêtement spécial pour ce plastique, pour soustraire la fibre de verre aux agressions. Enfin, les gaz acides exigent aussi un filtre à manche d'un tissu de qualité supérieure. Les incinérateurs ne sont habituellement pas équipés de la sorte; cependant, il est possible de moderniser les installations. Les facteurs de coût devraient naturellement être pris en considération avant d'entreprendre une telle modernisation et il n'est pas clair si un marché suffisant pour les excédents de SACO se créera pour justifier cet investissement dans les installations canadiennes et américaines (Jan Sterman, communication personnelle, Material Resource Recovery, Cornwall [Ontario], 1999).

Le seul incinérateur canadien actuellement autorisé à éliminer les SACO est celui du centre de traitement de Swan Hills, en Alberta, bien que, pour le moment, des problèmes techniques en limitent gravement la capacité (voir la discussion ci-dessous sur les fours rotatifs). Aux États-Unis, un certain nombre d'incinérateurs de divers types sont sur le marché, et sont utilisés de nombreuses années pour la destruction des déchets dangereux, comprenant les SACO. Les coûts de l'incinération des SACO devraient aller du milieu à l'extrémité supérieure de la fourchette, comparativement à la plupart des technologies. Les estimations précises des coûts varient considérablement selon le type de SACO, les quantités à détruire et la situation du marché. Les SACO à basse pression, telles que le CFC-11 et le CFC-113, sont habituellement mélangées avec d'autres solvants, sont moins coûteuses à incinérer que les SACO à haute pression, telles que le CFC-12 et le CFC-22. Les halons appartiennent à la catégorie haute pression et présentent des problèmes supplémentaires en raison de leur teneur en brome. Selon les indications, les incinérateurs de déchets dangereux des États-Unis sont sous-utilisés; les prix peuvent donc s'affaisser dans l'avenir. D'après l'information offerte dans les publications actuelles et d'après les renseignements fournis par plusieurs membres du personnel des installations d'incinération, la valeur approximative de 5 $/kg de SACO détruites a été choisie comme valeur par défaut concernant les technologies d'incinération pour lesquelles aucune autre information précise sur les coûts n'a pu être obtenue.

B-3.1 Incinération à haute performance. — Le centre de traitement de Swan Hills, en Alberta, est un centre d'incinération à haut rendement, à la fine pointe de la technologie. Ce centre possède un four rotatif. Le four comporte une étape de refroidissement rapide et se prête donc mieux à des modifications qui lui permettraient de détruire les SACO. La température de fonctionnement de la chambre de combustion secondaire est maintenue à 1 200 °C, ce qui est plus chaud que les incinérateurs classiques, fonctionnant typiquement à 1 100 °C. L'unité a été expressément conçue pour assurer une durée de séjour convenable (plus de 2 s) à plus de 1 100 °C, dans des conditions suffisamment turbulentes pour assurer la destruction des BPC à une efficacité de 99,999 9 %. De plus, le centre de traitement de Swan Hills soumet son unité à des essais de conformité d'une durée de trois jours, tous les 6 à 16 mois. Lors de ces essais, l'incinérateur est chargé de matières renfermant des BPC. Les essais de conformité ont constamment prouvé que l'efficacité de destruction était supérieure à 99,999 9 %, ce qui est le niveau requis pour approbation des permis. L'incinérateur proposé pour la destruction des SACO devrait atteindre un taux de destruction de 99,999 9 % parce que les températures d'autodécomposition des CFC sont comparables à celles des BPC. Néanmoins, le centre de traitement proposerait d'effectuer un essai de conformité avant de traiter des matières renfermant des SACO.

En vertu des règlements en vigueur en Alberta, le centre de traitement de Swan Hills peut détruire des SACO; en fait, il s'agit de la seule installation actuellement autorisée à détruire des SACO au Canada. Le centre de traitement s'est montré intéressé à apporter les modifications nécessaires à son installation pour y traiter des quantités importantes de SACO, si un marché convenable pour l'élimination des SACO excédentaires devait se matérialiser au Canada. Le centre de traitement mentionne qu'il lui faudrait environ six mois pour mettre en œuvre les modifications nécessaires.

B-3.2 Injection liquide. — Le seul incinérateur de déchets dangereux à injection liquide au Canada est exploité par Safety Kleen, à Sarnia (Ontario), mais il lui est présentement impossible de détruire des déchets halogénés. De plus, il n'est pas autorisé à le faire.

Les incinérateurs à injection liquide sont habituellement des unités à une seule chambre, équipée d'au moins un brûleur à déchets, dans lesquels les déchets liquides sont injectés, atomisés en fines gouttelettes, puis brûlés en suspension. Des problèmes d'instabilité de la flamme peuvent résulter lors de l'injection de gros volumes (> 40 %) de CFC ou d'autres SACO dans le brûleur. Ces incinérateurs sont capables de brûler une large gamme de déchets à l'état liquide ou vapeur, ils ont un débit élevé et n'ont aucune partie mobile. Les incinérateurs à injection liquide ne peuvent servir qu'à traiter des déchets atomisables dans des brûleurs et ils sont donc vulnérables au colmatage; cependant, l'incinération des SACO n'est pas susceptible d'être sensiblement limitée par ces contraintes.

B-3.3 Réacteur de craquage. — Ce procédé exclusif, mis au point par Hoechst AG (Francfort, en Allemagne) est protégé par un brevet européen (EP 0 212-410 B1), délivré en 1986. En 1996, Solvay a acquis de Hoechst la branche « Fluorocarbures » et exploite désormais l'installation de destruction par craquage, située près de Francfort. Solvay collabore avec Westab, entreprise de collecte et de transport des CFC résiduaires. Le procédé est exploité depuis 1983 pour traiter les gaz résiduaires engendrés lors de la production des CFC et, dernièrement, les CFC résiduaires. Solvay est officiellement autorisé à détruire 9 700 tonnes de CFC par année. Les principaux avantages du procédé sont l'emploi d'une flamme à l'oxygène-hydrogène (ce qui limite la formation de NO_x), sa température de fonctionnement très élevée, le refroidissement rapide (qui empêche la formation de PCDD et de PCDF) et la récupération des acides fluorhydrique et chlorhydrique. Le procédé n'accepte comme matières premières que les déchets gazeux, bien que la destruction commerciale des CFC puisse comporter l'inclusion d'une étape de vaporisation dans l'installation. D'après Solvay, les coûts de la destruction à Francfort sont d'environ 3,75 $/kg. Solvay est également prêt à offrir des concessions de licence de sa technologie pour la construction d'une installation au Canada. Solvay estime qu'une unité de craquage de 1 600 t de CFC/an coûterait 3 M$, à l'exclusion de l'ingénierie et du droit de licence.

Le craquage en réacteur utilise un réacteur cylindrique, refroidi à l'eau et formé de graphite, ainsi qu'un système de brûleurs à flamme d'oxygène-hydrogène. Le réacteur est en communication directe avec un absorbeur. Les gaz résiduaires, consistant typiquement en CFC, en HCFC et en HFC alimentent la chambre de réaction où la température est maintenue entre 2 000 et 2 600 °C. Les gaz sont dissociés en HF, H_2O, HCl, CO_2 et Cl_2. Les produits du craquage sont refroidis dans l'absorbeur, et les gaz acides sont purifiés et récupérés sous forme de HF (55 %) et de HCl (33 %), tous deux de qualité technique. L'efficacité du craquage excède les 99,999 %. Essentiellement, le gaz résiduaire résultant consiste uniquement en CO_2, en O_2 et en vapeur d'eau et satisfait aux exigences des règlements allemands sur la pureté de l'air (TA-Luft). Le procédé consomme 35 à 40 kg d'hydrogène par tonne de CFC et il consomme 300 kW·h d'énergie électrique par tonne de CFC.

B-3.4 Procédé de destruction des gaz et émanations. — Ce procédé utilise des chambres de combustion à revêtements réfractaires pour la destruction thermique des vapeurs résiduaires, le plus souvent de COV. L'effluent gazeux est chauffé au moyen d'un combustible auxiliaire tel que le gaz naturel ou le fioul. Il faut une température de combustion de près de 1 100 °C pour la plupart des SACO. La durée de séjour des gaz dans l'incinérateur est de 1 à 2 s. Certains incinérateurs d'émanations sont équipés d'échangeurs de chaleur, à la sortie des gaz de combustion, pour préchauffer l'air de combustion ou l'effluent gazeux résiduaire, ou les deux. Ces incinérateurs récupérateurs sont capables de récupérer jusqu'à 70 % de l'énergie se trouvant dans les gaz de combustion.

Les incinérateurs de déchets gazeux sont conçus pour fonctionner en continu et ils représentent une technologie simple mais éprouvée et, comme observé précédemment, ils peuvent récupérer l'énergie. Certaines SACO (p. ex. CFC-12, CFC-114, CFC-115) sont gazeuses à la température ambiante et peuvent être détruites par alimentation directe à partir de leur contenant ou enceinte d'entreposage pressurisés dans l'incinérateur. Les incinérateurs de gaz sont presque toujours exploités à titre privé et sont ordinairement trouvés dans les usines. Ces incinérateurs sont rarement utilisés dans les installations d'incinération commerciales des déchets dangereux, en raison du caractère impraticable du transport d'émanations et de gaz à faible densité.

B-3.5 Four rotatif. — Les incinérateurs à four rotatif sont des coquilles cylindriques d'acier doublées à l'intérieur de réfractaire, dont l'axe longitudinal forme un angle très aigu par rapport à l'horizontale. Ils sont capables de brûler des déchets liquides et solides. La rotation améliore le brassage et l'inclinaison entraîne les cendres ou le scorie en fusion vers la sortie. La plupart des fours rotatifs sont équipés d'une postcombustion qui assure la destruction complète des gaz d'échappement. Les matières liquides telles que les CFC, les halons et d'autres SACO peuvent alimenter le four rotatif ou, directement, la postcombustion.

Les fours rotatifs ont servis pour détruire toutes les formes déchets dangereux (gaz, liquides, solides, comprenant les boues). En raison de leur souplesse, les fours rotatifs sont des plus souvent intégrés dans la conception des incinérateurs commerciaux. Le principal avantage du four rotatif est sa capacité de manutentionner une grande variété de déchets liquides et solides. Cependant, ces fours sont très coûteux à construire et à entretenir. En outre, en raison des dérivés secondaires, il existe des restrictions rigoureuses concernant la quantité de SACO pouvant se trouver dans la charge du four.

B-3.6 Fours de cimenterie. — Les fours actuels, lorsqu'ils sont bien utilisés, peuvent détruire la plupart des composés organiques, comprenant les BPC, parce que la température dans la zone de combustion excède 1 500 °C et que la durée de séjour peut atteindre 10 s. Des essais ont montré que l'efficacité de la destruction des CFC est supérieure à 99,99 %. En général, la plupart des fours de cimenterie peuvent tolérer l'ajout régulé de SACO, mais cela devrait faire l'objet d'une évaluation spécifique à chaque cas rencontré. Le fluor peut être utile au processus de fabrication du ciment, parce qu'il permet aux réactions aboutissant à la formation du ciment de survenir à une température inférieure, ce qui permet d'économiser le combustible. Cependant, les fortes concentrations de fluor diminuent la qualité du ciment. De façon générale, la teneur maximale en fluor dans la charge brute est d'environ 0,25 %. Le chlore est généralement considéré comme indésirable, parce qu'il suscite des problèmes d'exploitation et parce que les fours récents équipés du préchauffage et de la précalcination ont une tolérance faible pour le chlore. La limite théorique de chlore est d'environ 0,015 % de la charge brute du four, mais la tolérance pratique serait beaucoup plus élevée.

Le principal avantage des fours de cimenterie est la grande capacité actuelle au Canada et aux États-Unis. L'inconvénient est la nécessité de réguler soigneusement l'apport ou le débit entrant de fluor et de chlore. En outre, les fours de cimenterie ne sont pas actuellement réglés pour accepter ou brûler des déchets renfermant des CFC ou des halons. Les modifications nécessaires exigeraient de l'équipement pour surveiller les émissions dangereuses. Les coûts d'exploitation, par unité de SACO détruite, sont estimés inférieurs aux coûts de la plupart des technologies d'incinération, c'est-à-dire d'environ 4 $/kg, contre environ 5 $/kg.

Un prospect canadien a entamé des discussions avec une entreprise étrangère ayant accès à un four de cimenterie pour laquelle l'addition de quantités appréciables de chlorures est bénéfique, en raison de la nature de la charge brute du four. Des essais exhaustifs auraient montré l'absence d'effets nocifs pour l'environnement par suite du remplacement de l'addition de chlore par la combustion de 500 à 1 000 t de CFC/an. En raison de la rareté des CFC localement, ce serait l'occasion d'exporter des CFC du Canada vers cette installation pour les y faire détruire.

B-3.7 Lit fluidisé à circulation interne (LFCI). — Les incinérateurs à lit fluidisé à circulation interne peuvent brûler tout solide, liquide ou gaz. Les CFC et l'air sont soufflés au travers du lit fluidisé de l'incinérateur et les CFC sont dégradés par la présence de méthane et d'hydrogène dans l'atmosphère réductrice de l'incinérateur. L'incinérateur est aussi alimenté en carbonate de calcium pour absorber le HCl et le HF, les gaz corrosifs formés par la dégradation des CFC, bien que, selon un spécialiste, il soit impossible d'étayer cette allégation.

En 1995, dans un effort commun, l'Institut national de la recherche sur les matériaux et les substances chimiques du Japon et le fournisseur d'incinérateurs Ebara, de Tokyo, ont démontré la destruction des CFC dans un incinérateur à lit fluidisé à circulation interne. L'incinérateur a été modifié par fixation d'une buse spéciale au bas de l'incinérateur pour souffler des CFC et de l'air au travers du lit fluidisé. Des essais utilisant un incinérateur d'une capacité de 30 t/j, à l'usine Fujisawa d'Ebara, ont montré que le brûlage au moyen de copeaux de bois peut détruire plus de 99,999 8 % de CFC.

Le principal attrait de cette approche est sa simplicité relative et le nombre important de brûleurs de copeaux de bois au Canada, bien qu'il ne soit pas nécessaire de brûler ce combustible dans ce type d'incinérateurs. Cependant, il est reconnu qu'un incinérateur à lit fluidisé ABB a fonctionné dans une usine de pâtes de la Colombie-Britannique depuis 1997. Néanmoins, ces installations auraient besoin de dispositifs d'épuration des gaz intégrant une étape de refroidissement.

Les procédés d'impression utilisés dans la production du présent document sont conformes aux normes de performance environnementale établies par le gouvernement du Canada dans le document intitulé *La directive nationale concernant les services de lithographie*. Ces normes servent à garantir l'intégrité environnementale des procédés d'impression grâce à la réduction des rejets toxiques dans l'environnement, à la réduction des apports d'eaux usées, à la réduction de la quantité de matières envoyées dans les décharges et à la mise en œuvre de procédures de préservation des ressources.

Le papier utilisé à l'intérieur de ce document est conforme à *La ligne directrice nationale du Canada sur le papier d'impression et le papier à écrire* ou à *La ligne directrice sur le papier d'impression mécanique non couché* (ou aux deux). Ces lignes directrices servent à établir des normes de performance environnementale pour l'efficience dans l'utilisation des fibres, la demande chimique en oxygène, la consommation d'énergie, le potentiel de réchauffement de la planète, le potentiel d'acidification et les déchets solides.

Les procédés d'impression et le papier utilisé à l'intérieur de ce document sont dûment certifiés conformément au seul programme d'éco-étiquetage du Canada – le **programme Choix environnemental**[MD] (PCE). Le symbole officiel de certification du programme – l'**Éco-Logo**[MD] – évoque trois colombes stylisées entrelacées pour former une feuille d'érable représentant les consommateurs, l'industrie et le gouvernement œuvrant ensemble pour améliorer l'environnement du Canada.

Pour plus d'informations sur le **programme Choix environnemental**[MD], veuillez visiter le site Web à l'adresse **www.environmentalchoice.com** ou téléphonez le responsable du programme au (613) 247-1900.

La Section de la mise en valeur de la technologie d'Environnement Canada est fière d'appuyer la norme de performance touchant l'environnement et la qualité et l'emploi de papier certifié dans le cadre du **programme Choix environnemental**[MD] et de produits et de procédés respectueux de l'environnement, depuis l'élaboration jusqu'à la distribution de produits d'information. Pour obtenir un exemplaire du catalogue *Environnement Canada : Publications et sites Internet choisis*, veuillez communiquer avec nous, sans frais, en composant le 1 800 734-3232 ou (819) 953-5750 par télécopieur au (819) 994-5629 ou par courriel à l'adresse **epspubs@ec.gc.ca**. Pour plus de renseignements sur Environnement Canada, veuillez visiter le site Web du Ministère à **www.ec.gc.ca**.

CHOIX ENVIRONNEMENTAL • ENVIRONMENTAL CHOICE •